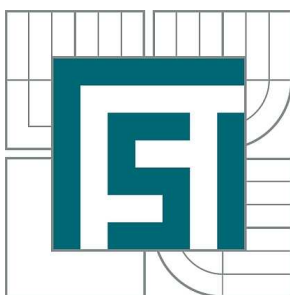


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

RAMENOVÝ NOSIČ KONTEJNERŮ NKR130V

SKIP LOADER NKR130V

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. LUKÁŠ DERKA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KAŠPÁREK, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Lukáš Derka

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Ramenový nosič kontejnerů NKR130V

v anglickém jazyce:

Skip loader NKR130V

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pevnostní kontrola a návrh konstrukčních úprav nejvíce zatěžovaných částí ramenového nosiče kontejnerů NKR130V jako nástavby nákladního automobilu.

Základní technické údaje:

- nakládací kapacita při úrovnovém nakládání a při zasunutých ramenech 13000 kg
- výška rámu vozidla 1000 mm
- zdvih hlavních válců 1845 mm
- výsuv ramem 1200 mm
- pracovní tlak do 32 MPa

Cíle diplomové práce:

Proveďte pevnostní kontrolu rámu a nakládacích ramen nástavby nákladního automobilu určeného pro přepravu kontejnerů. Navrhněte vhodné konstrukční úpravy.

Vypracujte technickou zprávu obsahující zejména:

- pevnostní kontrolu stávajícího stavu,
- určení poddimenzovaných a předimenzovaných částí a návrh vhodných úprav,
- veškeré další nezbytné výpočty dle pokynů vedoucího DP.

Nakreslete:

- výkresy podsestav a výrobní výkresy dle pokynů vedoucího DP.

Seznam odborné literatury:

VLK, František. Dynamika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 80-238-5273-6

PTÁČEK, P., KAPLÁNEK, A.: Přeprava nákladu v silniční dopravě, CERN, Brno, 2002, ISBN 80-7204-257-2

Zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, Ministerstvo dopravy a spojů, 10. leden 2001

LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: Strojnické tabulky, vyd. Albra, 2003, s. 865, ISBN: 80-86490-74-2

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 19.10.2011

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá pevnostní analýzou základního rámu a nakládacích ramen ramenového nosiče kontejnerů. K výpočtu zatěžovacích stavů je použita dynamická simulace. Výsledky simulace jsou použity jako okrajové podmínky pro výpočet pevnostní analýzy metodou konečných prvků (MKP). Výsledky analýzy byly vyhodnoceny a na jejich základě byly provedeny úpravy konstrukce. Součástí práce je výkresová dokumentace navržených úprav.

Klíčová slova

ramenový nosič kontejnerů, dynamická simulace, zatěžovací stav, pevnostní analýza, metoda konečných prvků (MKP)

Abstract

This master's thesis deals with a strength analysis of the main frame and loading arms of a skip loader. For a calculation of load states is used a dynamic simulation and its results are used as a boundary conditions for the strength analysis using finite element method (FEM). The results of the analysis is evaluated and on theirs basis are designed a construction improvements. The part of the thesis is drawings documentation of the construction improvements.

Keywords

skip loader, dynamic simulation, load state, strength analysis, the finite element method (FEM)

DERKA, L. *Ramenový nosič kontejnerů NKR130V*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 61 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D..

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Jaroslava Kašpárka, Ph.D., a s použitím uvedených zdrojů.

V Brně dne 25. května 2012

Lukáš Derka

Obsah

1. ÚVOD	9
2. NOSIČE KONTEJNERŮ	10
2.1 Kontejnery pro automobilovou dopravu	10
2.2 Ramenové nosiče kontejnerů	11
3. KONSTRUKCE RAMENOVÉHO NOSIČE NKR 130V	13
3.1 Rám	13
3.2 Ramena	15
3.3 Výsuvné podpěry	16
3.4 Hydraulická, pneumatická a elektrická výbava.	17
4. TVORBA MODELU V MSC.ADAMS	17
4.1 Model a simulace v prostředí MSC.Adams	18
4.2 Výsledky simulace	20
4.3 Stanovení zatěžovacích stavů	23
5. TVORBA MODELU V NX I-DEAS	24
5.1 Tvorba modelu základního rámu.	25
5.2 Tvorba modelu nakládacího ramene	26
5.3 Vytvoření konečnoprvkové sítě, vytvoření FEM modelu	26
5.4 Definice okrajových podmínek	28
5. ANALÝZA PŮVODNÍHO RÁMU	29
5.1 Výpočet návrhové pevnosti a posouzení reálnosti výsledků	29
5.2 První zatěžovací stav 140 sekund	31
5.1.1 Přední část rámu	32
5.1.2 Zadní část rámu	33
5.1.3 Napojení příček	34
5.3 Druhý zatěžovací stav 220 sekund	35
5.2.1 Přední část rámu	36
5.2.2 Zadní část rámu	37
5.2.3 Napojení příček	38
5.4 Nakládací rameno	40
6. NÁVRH VHODNÝCH ÚPRAV RÁMU	40
7. ANALÝZA UPRAVENÉHO RÁMU	47
7.1 První zatěžovací stav 140 sekund	48
7.1.1 Přední část rámu	49
7.1.2 Zadní část rámu	49

7.1.3 <i>Napojení příček</i>	51
7.2 Druhý zatěžovací stav 220 sekund	52
7.2.1 <i>Přední část rámu</i>	53
7.2.2 <i>Zadní část rámu</i>	54
7.2.3 <i>Napojení příček</i>	55
7.3 Nakládací rameno	56
 8. ZÁVĚREČNÁ ČÁST	57
8.1 Shrnutí	57
8.2 Závěr	58
 9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	59
 10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	60
 11. SEZNAM PŘÍLOH	61

1. ÚVOD

Diplomová práce se zabývá zjištěním zátěžových stavů ramenového nosiče kontejnerů NKR 130V a následného posouzení jejich vlivů na konstrukci. Dále návrhem vhodných konstrukčních úprav v místech, kde pevnostní analýza prokázala největší napětí a deformace.

Ramenový nosič kontejnerů NKR 130V je zařízení navržené jako nástavba nákladního automobilu. Slouží k manipulaci s kontejnerem tj. nakládání, přeprava, vykládání, vysypání.

Tato nástavba je určena k manipulaci s kontejnerem o celkové hmotnosti 13 tun a maximálním pracovním tlakem hydraulických prvků 32 MPa.

Stejně jako většina práce výpočtářů a konstruktérů podlehla novým trendům v oblasti virtuálního konstruování, simulace a analýzy pomocí různých softwarů a výpočetních center, je i v této práci použit stejný přístup k řešení dané problematiky.

Zařízení je testováno virtuálně v programu MSC.ADAMS, který nám umožní zjistit zátěžové stavy při manipulaci nástavby s plně naloženým kontejnerem. V tomto programu je možnost vidět nástavbu na nákladním automobilu nebo na zkušebním vozíku v pohybu a určit přesně velikosti a směry všech sil působících v jakémkoliv místě soustavy.

Tyto zjištěné síly jsou použity v programu I-DEAS k provedení pevnostní analýzy jednotlivých zátěžovacích stavů.

Výsledky pevnostní analýzy byly přezkoumány a na jejich základě byly navrženy vhodné konstrukční úpravy. Všechny úpravy a změny v konstrukci jsou přiloženy ve výkresové dokumentaci.

2. NOSIČE KONTEJNERŮ

Kontejnerová doprava je už dlouhou řadu let velmi častým způsobem manipulace s materiálem. Ať už s novým nebo recyklovaným zbožím, a nebo odpadem.

Výhodou tohoto druhu přepravy je především úspora času na prostojích nákladního automobilu, jelikož kontejner může být plněn bez jeho přítomnosti.

V době plnění jednoho kontejneru, je jiný odvážen nákladním automobilem na nástavbě nosiče. Tím se zlepší materiálový tok mezi pracovišti. Například mezi staveništi a dodavateli materiálu, nebo sběrnami surovin a jinými skládkami materiálu. Manipulace s materiálem se zrychlí a sníží se její cena. Je také velmi důležité určit, jaké druhy kontejnerů bude nejvýhodnější použít. To je jednou z několika důležitých otázek logistiky.



Obr. 1: Kontejner pro hákový nosič, výrobce CTS Container. [1]

2.1 Kontejnery pro automobilovou dopravu

Kontejnery mohou být různě konstrukčně řešeny. Většina kontejnerů je ale typizována a podléhá normám.

U nás se nejvíce používají kontejnery, určené pro přepravu na hákových nosičích.

Ty tvoří hlavní nosníky na kterých kontejner stojí a slouží jako lyže, které se při nakládání opírají o kladky rámu nástavby. Oba nosníky jsou tvaru „L“ a jsou spojeny v přední části

okem pro zavěšení do háku nakládacího ramene nástavby. V zadní části jsou nosníky spojeny jedním, nebo více ocelovými válci, opírajícími se o podložku.

Na takto vzniklý rám jsou usazeny různé korby, a nebo jiná přepravní zařízení. Cisterny, nádrže, skříně, nosiče kabelových cívek apod.

Dalším často používaným druhem kontejnerů jsou kontejnery vanové, pro přepravu na ramenových nosičích, někdy nazývaných řetězové nosiče. Tyto kontejnery mohou být řešeny jako otevřené, nebo ze zadní či horní strany uzavíratelné plechovými vraty. Jsou vybaveny párem závěsů po stranách pro zavěšení na řetězy nakládacích ramen. U spodní hrany kontejneru vpředu a vzadu jsou oka nebo jiné konstrukční prvky určené k zaháknutí do vysýpacích háků a pohybem nakládacích ramen směrem dozadu je obsah kontejneru vysypán.



Obr. 2: Kontejner vanový uzavřený, výrobce KOVOK Jeseník. [2]

2.2 Ramenové nosiče kontejnerů

Ramenové nosiče kontejnerů se používají k manipulaci s kontejnery a k přepravě kontejnerů po pozemních komunikacích. Jsou řešeny jako nástavby nákladních automobilů nebo nákladních vleků za automobil či traktor.

Nejčastěji se používají k přepravě stavebního materiálu nebo odpadu.

Některé ramenové nosiče mohou být konstrukčně řešeny jako přídatná zařízení, uzpůsobená k upevnění k nástavbě hákového nosiče. Toto řešení je výhodné pro použití jednoho nákladního automobilu pro dva druhy kontejnerů. Příklad tohoto řešení je na obr. 3, kde je zobrazen vleč k připojení za traktor.



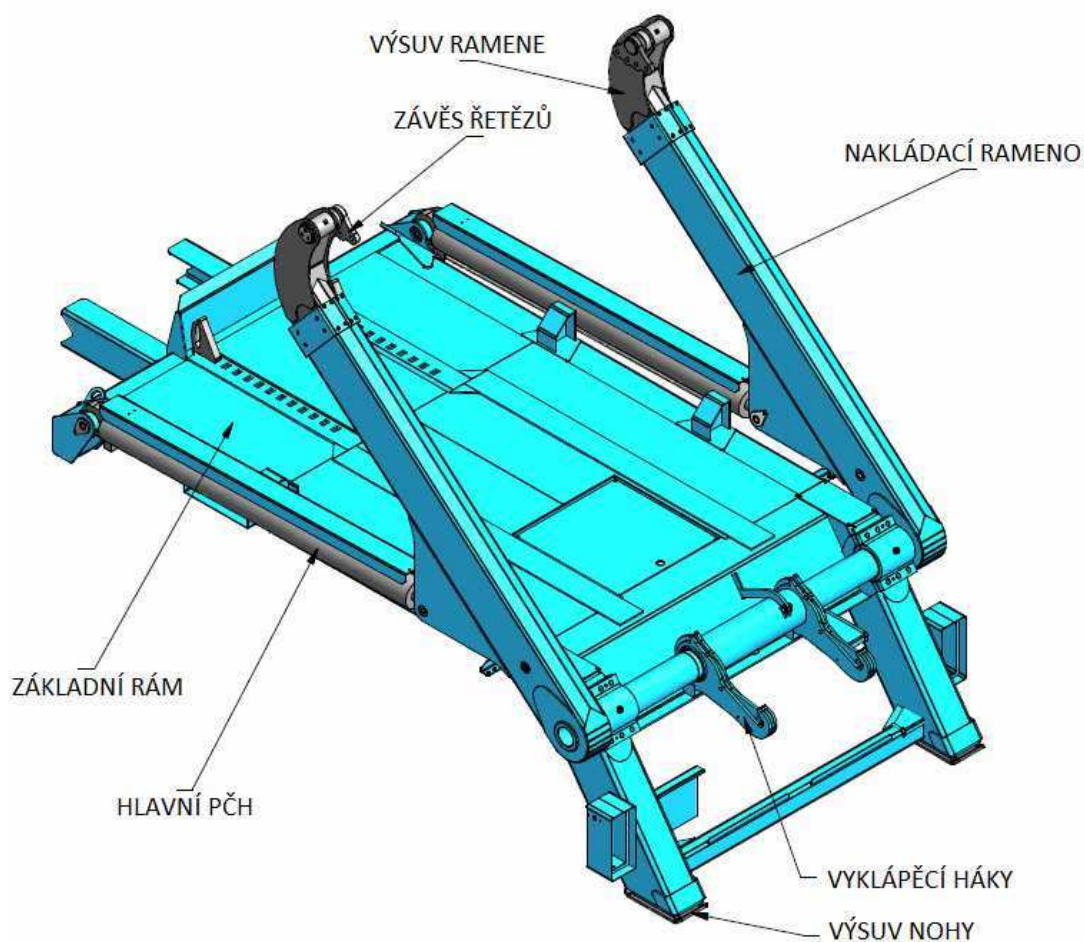
Obr. 3: Ramenový nosič kontejnerů NKR 95 v kombinaci s hákovým nosičem. [3]



Obr. 4: Ramenový nosič kontejnerů NKR 130V na automobilu MAN. [3]

3. KONSTRUKCE RAMENOVÉHO NOSIČE NKR 130V

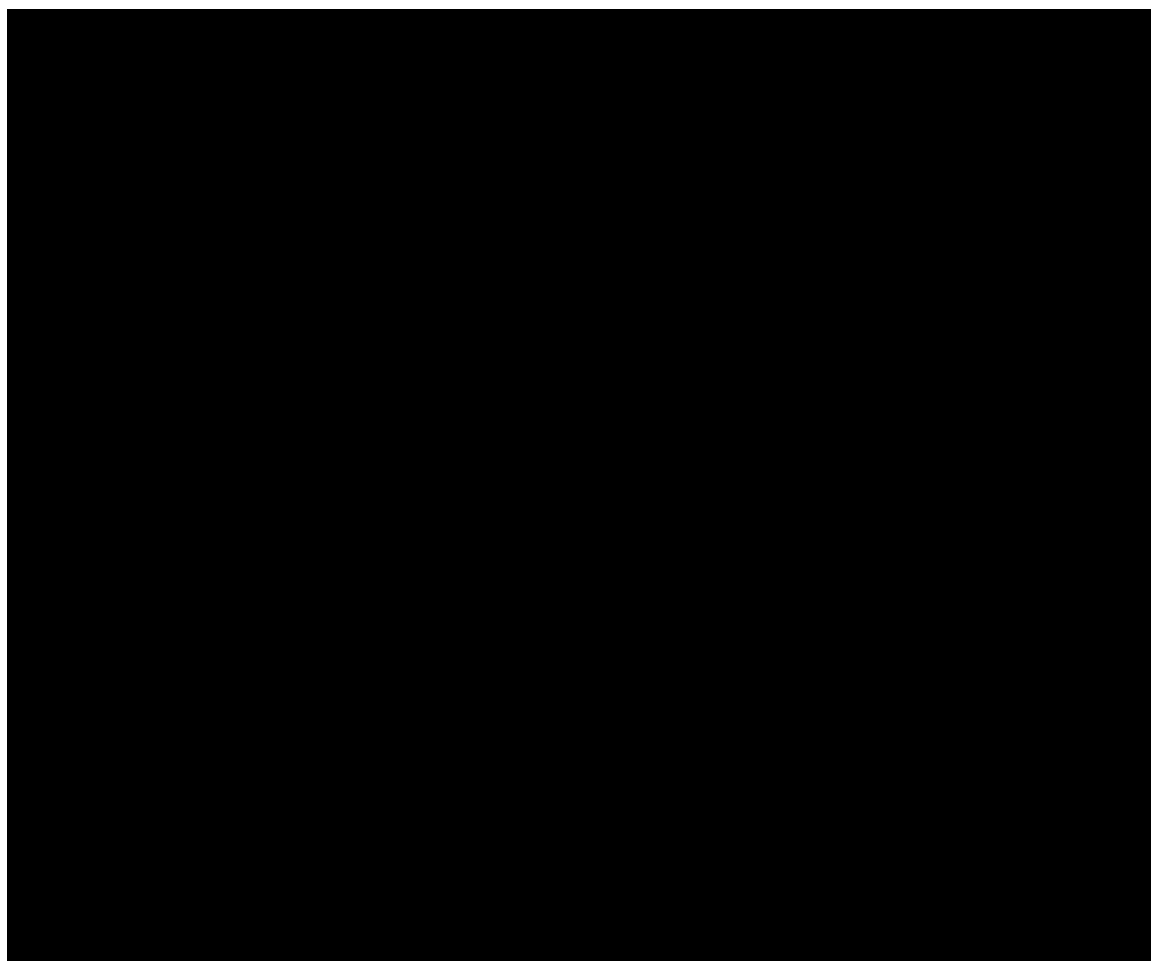
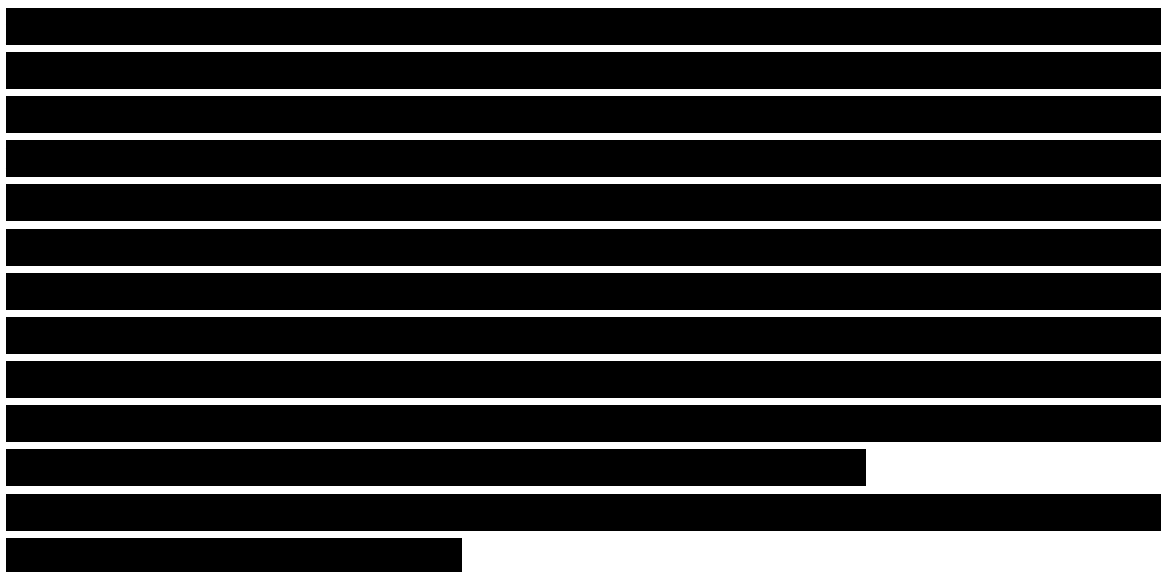
Nosič NKR 130V se skládá z těchto hlavních částí – rám, teleskopická ramena, zajišťovací háky, výsuvné podpěry, hydraulická, pneumatická a elektrická výbava. Většina konstrukce je tvořena ze svařovaných plechů. Některé části z hutních polotovarů. Všechny svařované části jsou vyráběny přímo ve firmě, ostatní části, jako jsou hydraulické, pneumatické a elektrické prvky jsou dodávány externími dodavateli.



Obr. 5: Hlavní části ramenového nosiče.

3.1 Rám

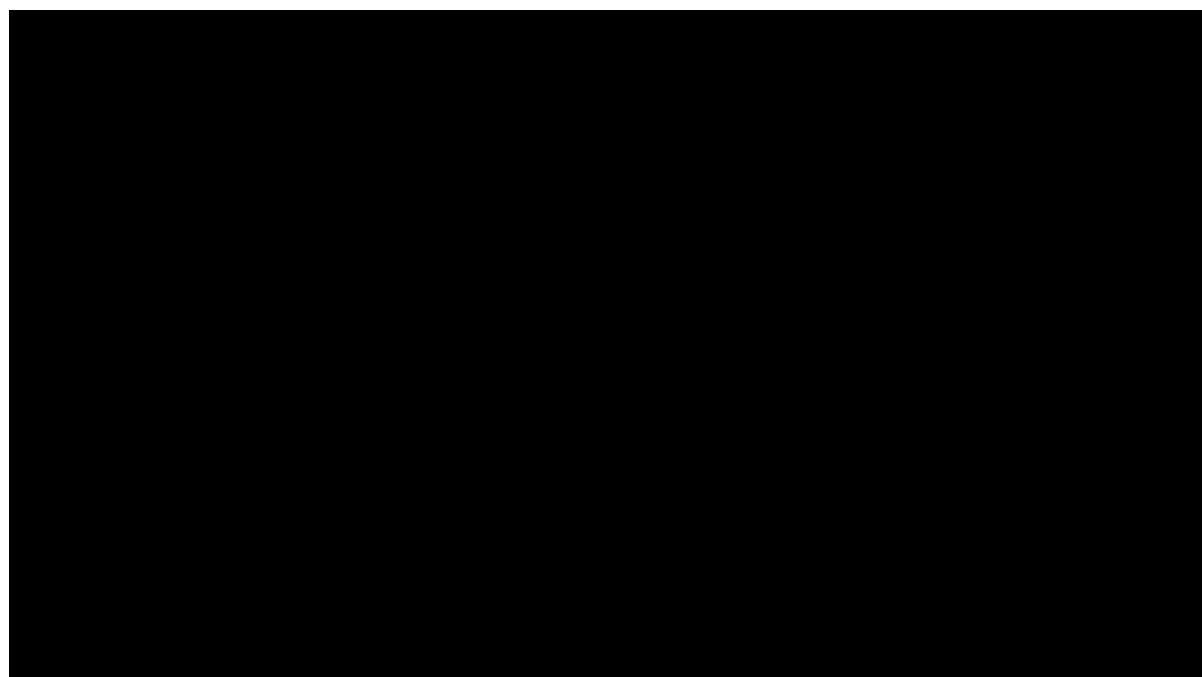
Rám je základem celé konstrukce zařízení a slouží jako nosný prvek, na který jsou připevněny ostatní součásti nosiče, jak je zobrazeno na obr. 6.



Obr. 6: Konstrukční prvky základního rámu.

3.2 Ramena

Každé rameno je tvořeno dvěma částmi – pouzdro a výsuvná část (dále výsuv)
obr. 7. Celek tvoří teleskopické rameno s možností vysunutí o 1200 mm



Obr. 7: Konstrukční prvky nakládacího ramene.



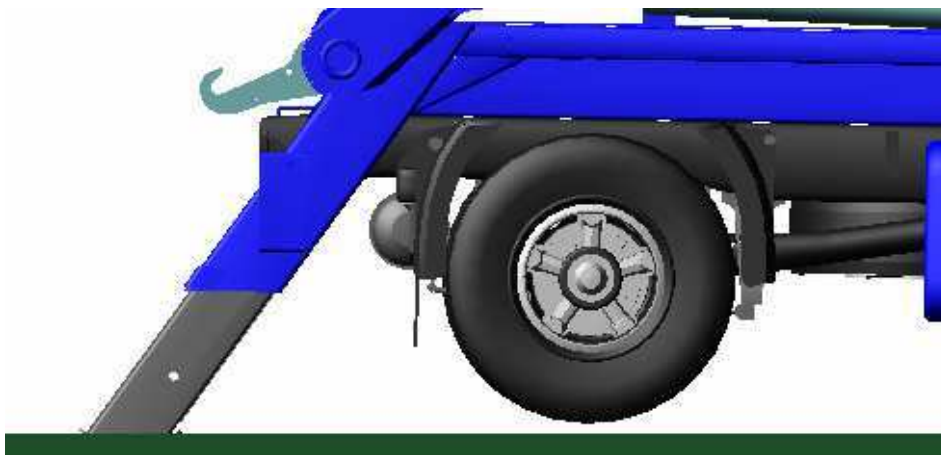
Obr. 8: Uložení společné hřídele nakládacích ramen.

3.3 Výsuvné podpěry

Jsou na zadní straně rámu v pouzdrech. Slouží při nakládce či vykládce kontejneru, jako pomocné nohy pro větší stabilitu vozidla a lepší rozložení váhy na plochu. Podpěry mají maximální výsuv [REDACTED]. Také jsou svařeny z plechů. Nohy se vysunou a zapřou o podložku, tím se rozloží hmotnost vozidla s nástavbou. Při nakládání se takto zajištěné vozidlo nenaklání kolem zadní nápravy.

V extrémním případě se může stát, že při nakládání a vykládání kontejneru je vysunutí nohou tak velké, že vozidlo má zadní kola nad podložkou (terénem). V tomto případě musí podpěrné nohy unést hmotnost nákladního vozidla, celé nástavby a plně naloženého kontejneru.

S tímto případem je počítáno i v simulaci.



Obr. 9: Zvednutí zadní nápravy vozidla nad terén.

3.4 Hydraulická, pneumatická a elektrická výbava.

Nosič je vybaven třemi dvojicemi přímočarých hydromotorů.

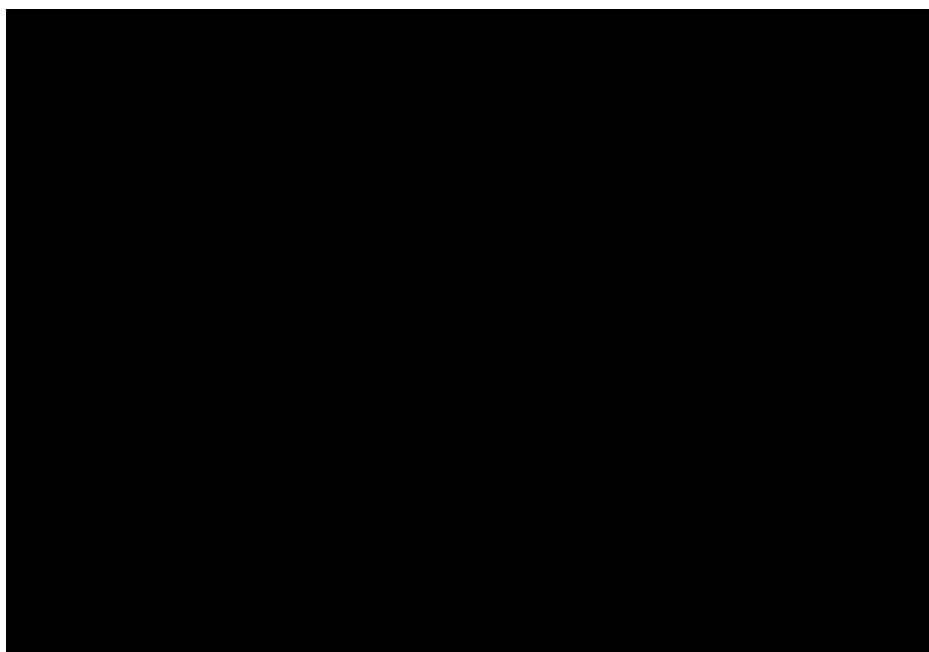


Hydraulická výbava je navržena do maximálního pracovního tlaku 32 MPa.

Pneumatické vybavy se týká pouze pneumatický přímočarý motor k ovládání zajišťovacích háků.

Elektrická výbava je pouze osvětlení nutné k pohybu po pozemních komunikacích.

Dalším vybavením jsou elektrické a hydraulické ovládací prvky umístěné pod pravou stranou základního rámu.



Obr. 10: Elektrické a hydraulické ovládací prvky.

4. TVORBA MODELU V MSC.ADAMS

Jelikož jde o pohyblivý mechanismus, bylo důležité provést dynamickou simulaci, ze které lze získat velikost a směry reakčních sil. Ty jsou získány nasimulováním pohybu mechanismu v prostředí softwaru MSC.Adams. Získané síly určí, jaké namáhání bude působit na nakládací ramena a základní rám analyzované nástavby.

Pro získání tak důležitých informací je třeba vytvořit model nástavby nosiče kontejnerů, usazený na podvozku nákladního automobilu.



Obr. 11: Model pro simulaci pohybu v softwaru MSC.Adams.

4.1 Model a simulace v prostředí MSC.Adams

Model byl sestaven z automobilu MAN a samotné nástavby nosiče. Automobil byl získán jako model z herního simulátoru. Je volně dostupný na internetu, např. zde [4]. Tento model nákladního vozu jsem zvolil pro jeho častý výskyt v simulátorech a také proto, že je často používaným vozidlem osazeným ramenovými nosiči.

Pro použití v simulaci nebylo třeba model nijak upravovat. Pouze bylo nutné převést formát, ve kterém byl získán, do formátu OBJ. Takto převedený model bylo možné importovat do softwaru MSC.Adams v určitém měřítku, které by zaručilo, že rozměry vozidla v simulaci budou odpovídat skutečným rozměrům. Měřítko se dá získat např. podle rozměrů kol.

Model nástavby byl upraven v prostředí Autodesk Inventor a pomocí Autodesk 3D Studio Max převeden na formát OBJ, poté byl importován do softwaru MSC.Adams. Aby byl model schopen dynamické simulace, musela být celková sestava rozdělena na několik samostatných podsestav. Ty tvoří jednotlivé pohyblivé součásti.

Konečný model nástavby byl sestavena z devíti hlavních pohyblivých součástí, mezi kterými byly definovány vazby. Na některých vazbách byly umístěny generátory pohybů. A to na hlavních PČH, které ovládají nakládací ramena, a na PČH výsuvných noh.

Všem součástem modelu bylo třeba definovat fyzikální vlastnosti, jako je hmotnost a momenty setrvačnosti. Vlastnosti všech součástí byly získány z modelářského

programu Inventor. Jejich přehled je v tab. 1. Dalším důležitým parametrem byla poloha těžiště všech částí.

Nákladní automobil jako nosič nástavby byl vložen s definovanou hmotností a těžištěm určených podle katalogu výrobce [5] a směrnice pro výrobce nástaveb [6]. Stejně tomu bylo i při vkládání kontejneru. Kdy hmotnost samotného kontejneru byla snížena o hmotnost řetězů (v tomto případě tyčí).

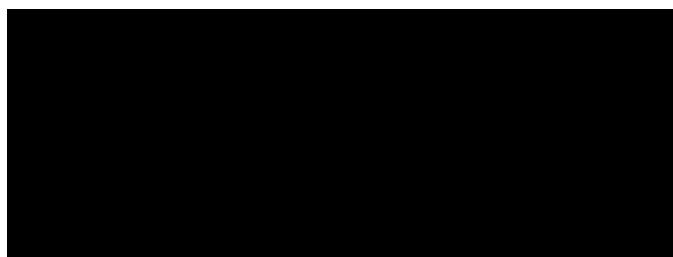
Celková hmotnost břemene zavěšeného na nakládacích ramenech je 13000 kg.

Model koná dva pohyby. Při prvním pohybu se vysouvají výsuvy nohou, které po dotyku s podložkou nadzvednou nástavbu i se zadní částí automobilu. Celý model se naklopí kolem předních kol směrem dopředu.

Druhý pohyb konají nakládací ramena, která se naklápí kolem společné hřídele dopředu či dozadu. Pohyb těchto ramen bylo nutné omezit do krajních poloh, ve kterých jsou hlavní PČH schopny pracovat do maximálního tlaku [REDACTED]. Tento tlak nám umožňuje pracovat s maximální silou [REDACTED] při vysouvání a [REDACTED] při zasouvání. Názorněji jsou síly zobrazeny na obr. 12.

Tab. 1: Přehled částí importovaných do MSC.Adams

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		
	[REDACTED]	[REDACTED]		
		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]



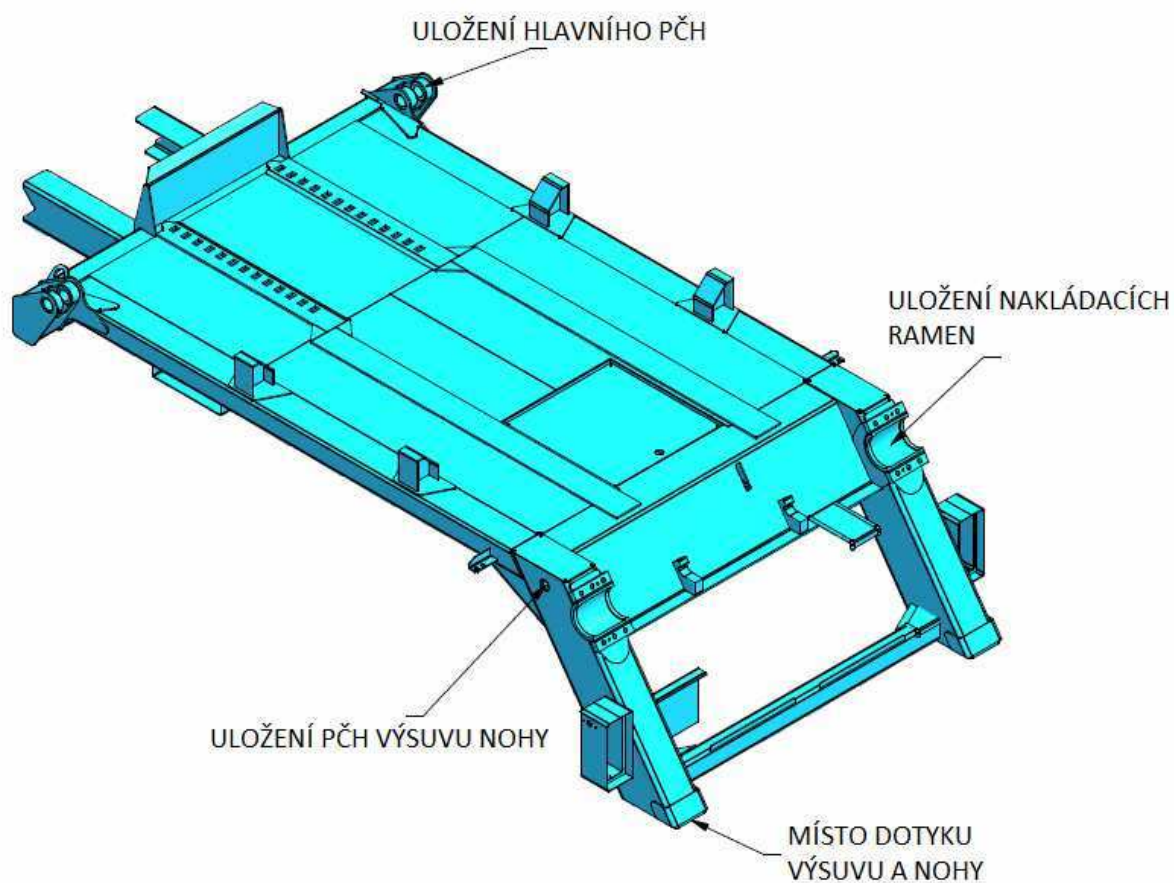
Obr. 12: Znáznornění maximálních sil při pracovním tlaku do 32 MPa.

4.2 Výsledky simulace

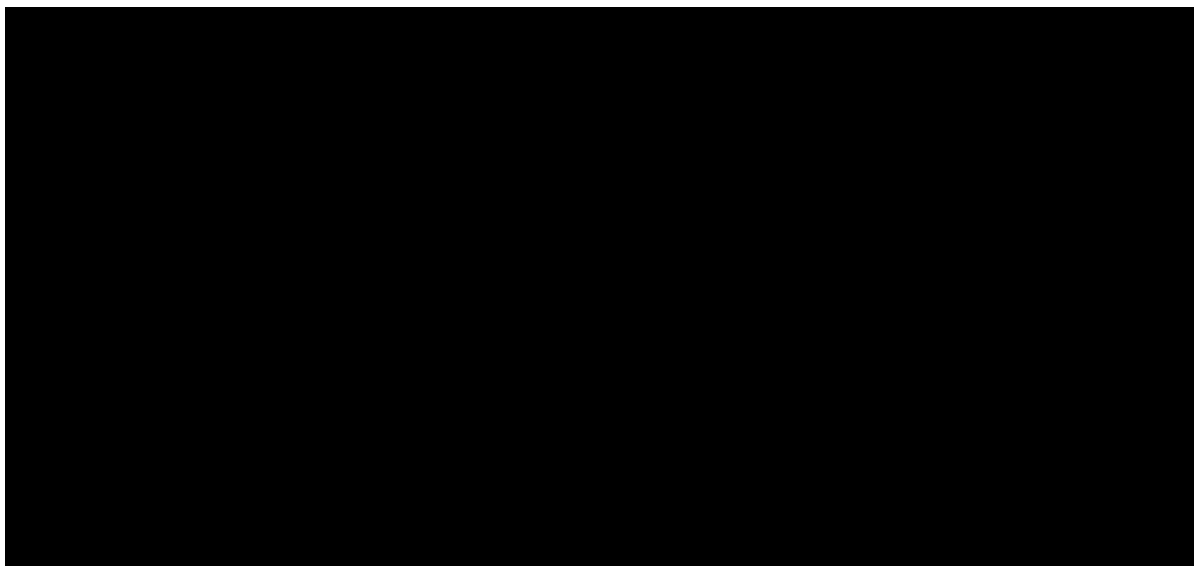
Po spuštění simulace trvající 230 sekund a vykonání všech definovaných pohybů byly získány grafy působících sil v místech měření reakcí. Reakce byly měřeny v následujících uzlech na základním rámu dle obr. 13.

Grafy zobrazují velikosti složek sil působících v daných uzlech, v určitou dobu simulace. Podle grafů pak lze stanovit zatěžovací stavy.

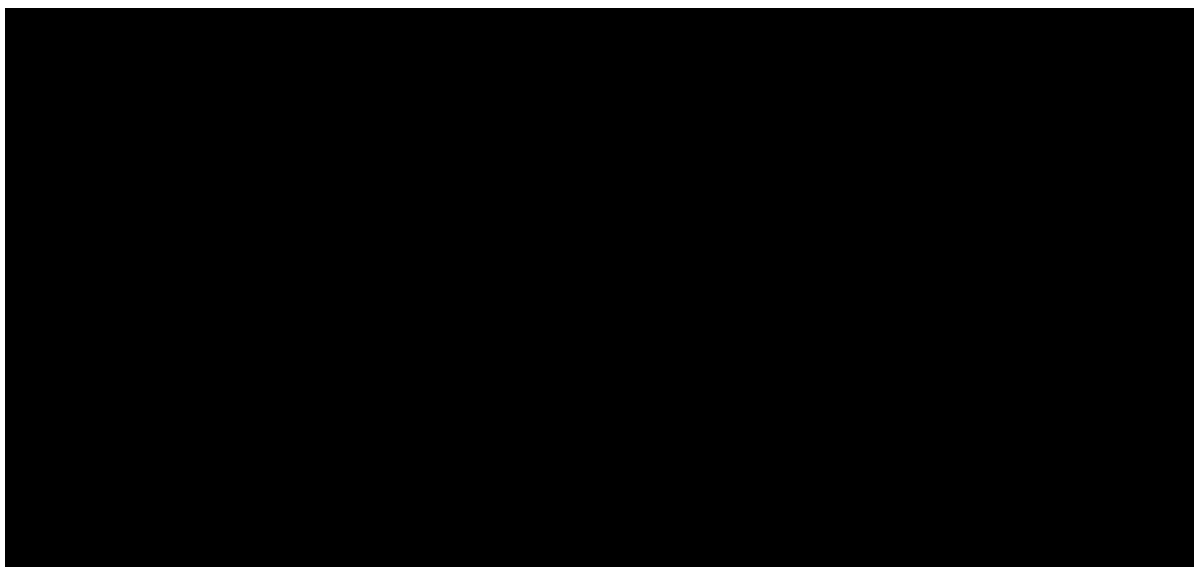
V grafech je znázorněna červeně osová složka síly X a modře osová složka síly Y.



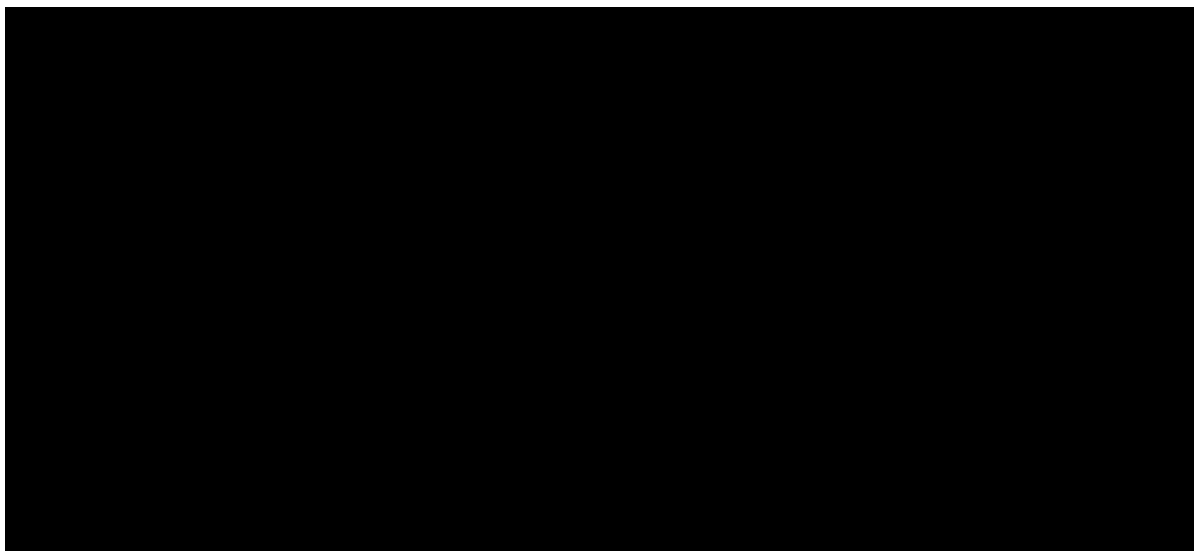
Obr. 13: Měřící uzly pro zjištění výsledných sil.



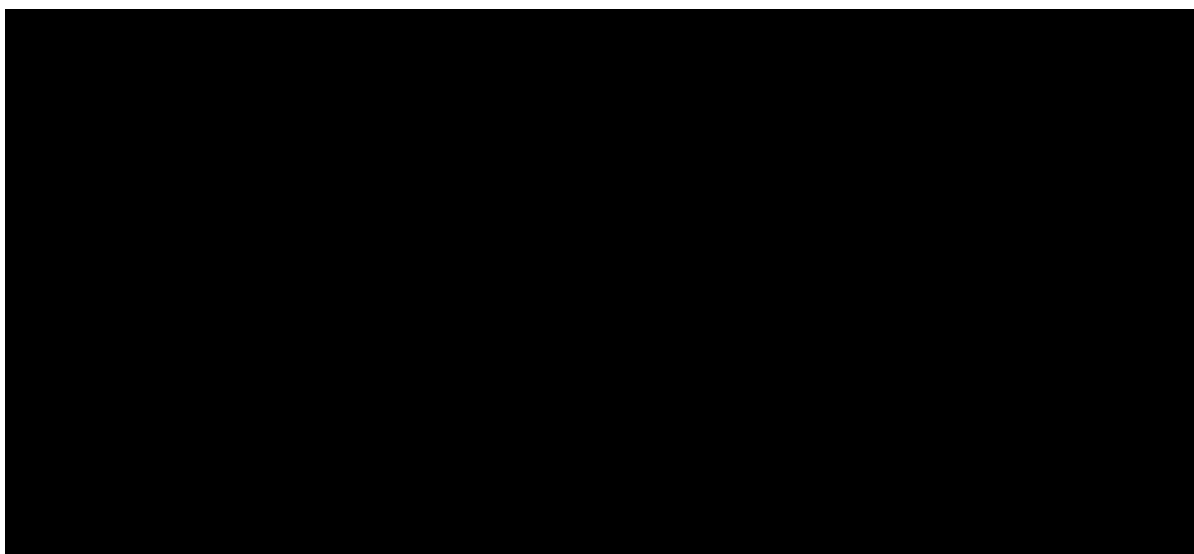
Obr. 14: Graf velikostí složek x a y síly působící v místě uložení nakládacích ramen na základním rámu.



Obr. 15: Graf velikostí složek x a y síly působící v místě uložení hlavních PČH na základním rámu.



Obr. 16: Graf velikostí složek x a y síly působící v místě uložení PČH výsuvů noh na základním rámu.



Obr. 17: Graf velikostí složek x a y síly působící v místě styku výsuvné části s nohou nástavby.

Grafy názorně ukazují velikosti směrů složek sil, vyvolaných v měřených uzlech na základním rámu. Mírné zvlnění a nerovnosti křivek jsou způsobeny pomalým kmitem kontejneru v závěsech řetězů. Velikosti sil jsou zpracovány do tabulky zatěžovacích stavů tab. 2.

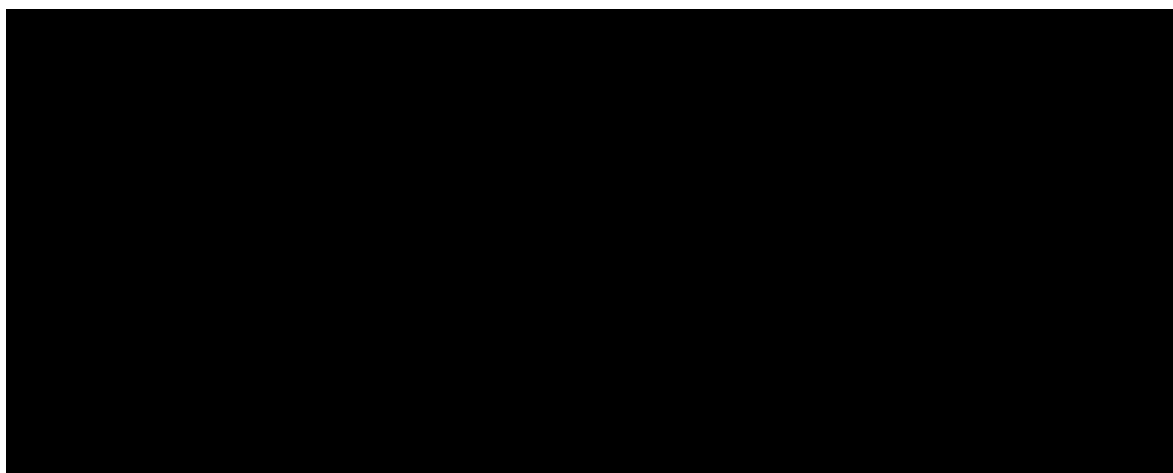
4.3 Stanovení zatěžovacích stavů

Zatěžovací stavy byly odvozeny z pohybu ramen a ze získaných grafů.

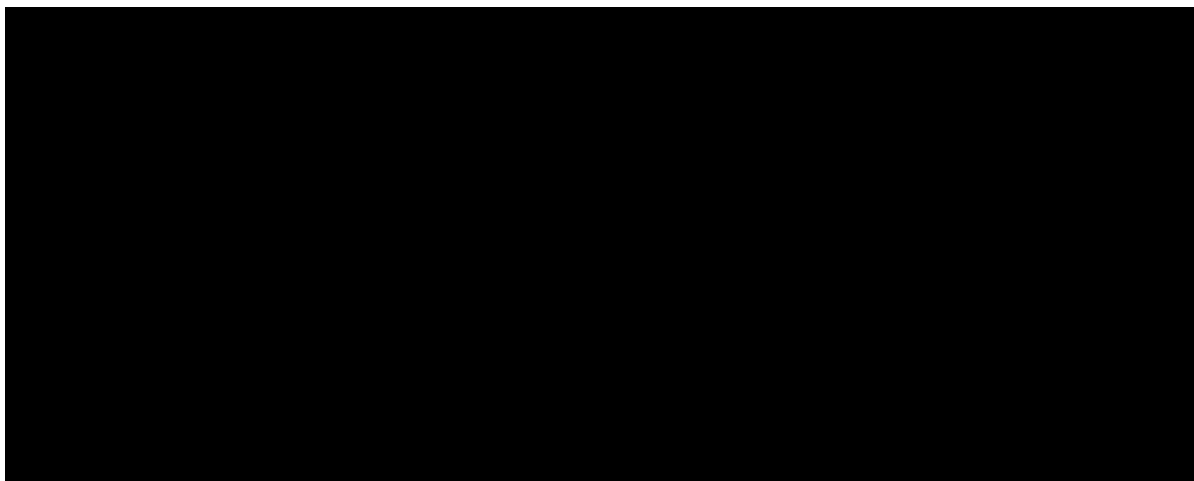
- 1. zatěžovací stav** nastává v čase 140 sekund, kdy je nástavba a zadní část automobilu zvednuta vysunutím podpěr v zadní části rámu. Ramena jsou nejdále v zadu a kontejner je vykládán.
- 2. zatěžovací stav** odpovídá času 220 sekund, kdy je nástavba a zadní část automobilu stále zvednuta. Ramena jsou nejbližší ke kabině automobilu a kontejner je téměř naložen.
- 3. zatěžovací stav** je pouze pro pevnostní analýzu nakládacího ramene. To je nejvíce namáháno při vodorovné poloze, kdy na rameno působí největší ohybový moment. Síla od kontejneru činí na jednom rameni [REDACTED].

Tab. 2: Tabulka zatěžovacích stavů

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]			
			[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]



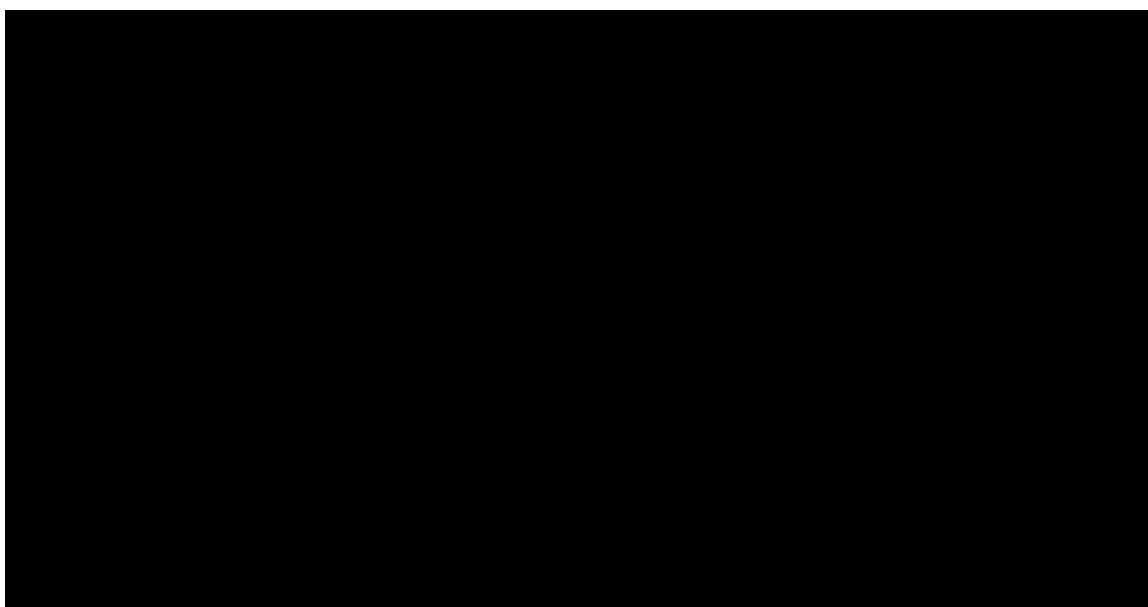
Obr. 18: Směry reakcí sil v uzlech při 1. zatěžovacím stavu



Obr. 19: Směry reakcí sil v uzlech při 2. zatěžovacím stavu

5. TVORBA MODELU V NX I-DEAS

Modely v softwaru NX I-Deas byly vytvořeny jako modely skořepinové, tvořené střednicovými plochami jednotlivých objemů. To umožňuje jednodušší modelování a tvorbu FEM modelu. Samozřejmě i menší časové a hardwarové nároky pro výpočet.

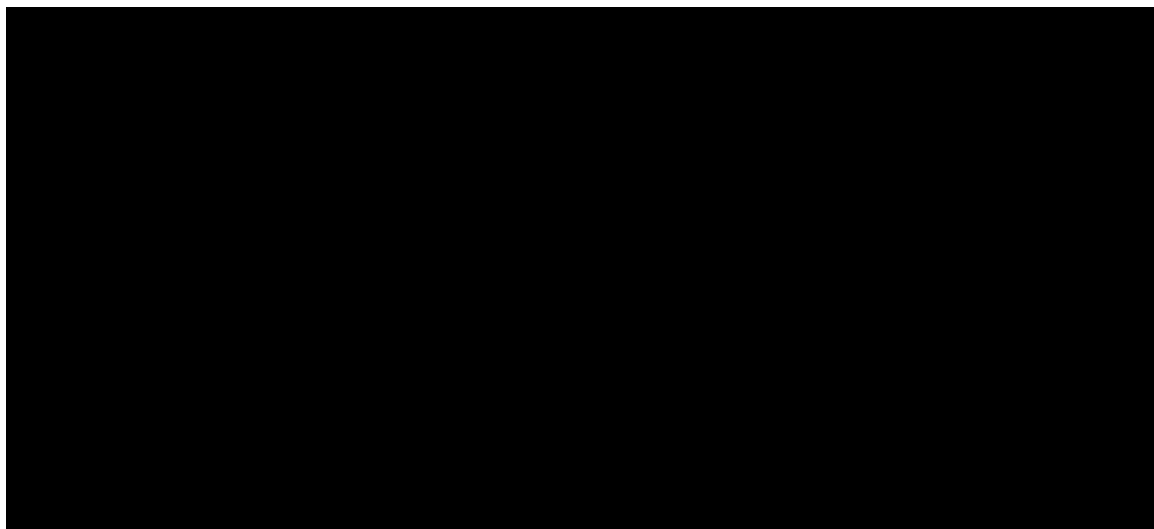


Obr. 20: Modely v softwaru NX I-Deas.

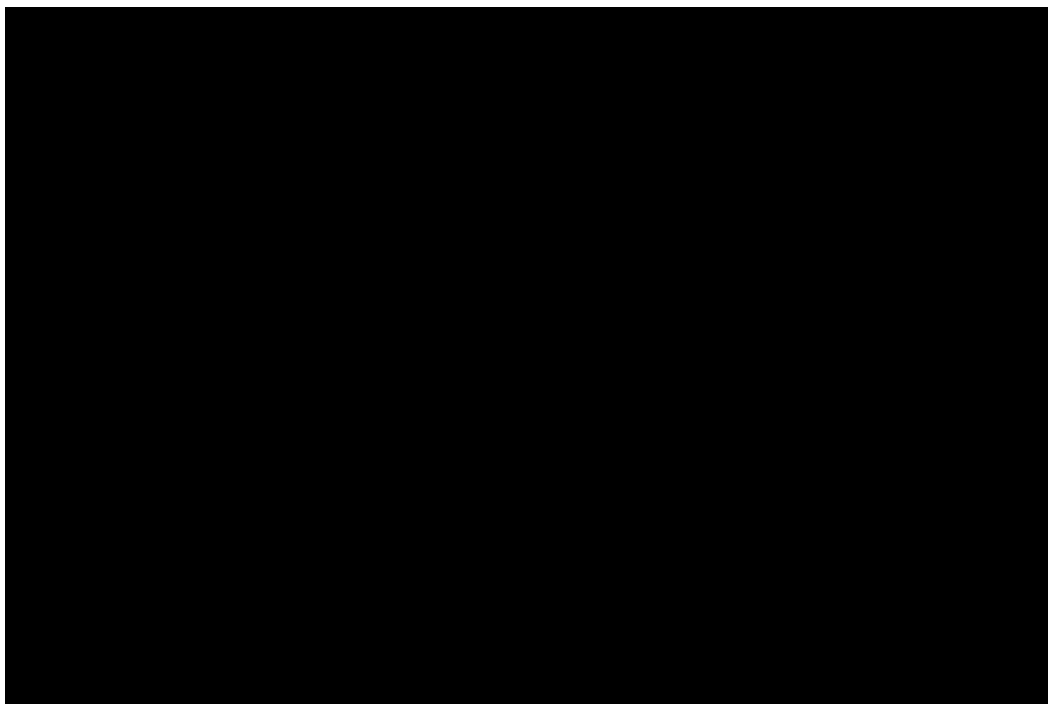
5.1 Tvorba modelu základního rámu.

Model základního rámu byl vytvořen napojením střednicových ploch jednotlivých plechů a profilů, které jsou na skutečném rámu svařovány.

Model byl upraven na symetrický, pro zjednodušení modelování a později i vytváření sítě. Zjednodušení spočívá ve zdvojení montážních a funkčních otvorů v hlavním nosníku a zadním příčném plechu tak, aby se tyto otvory vyskytovaly na obou stranách základního rámu.



Obr. 21: Otvory způsobující nesymetrii modelu.

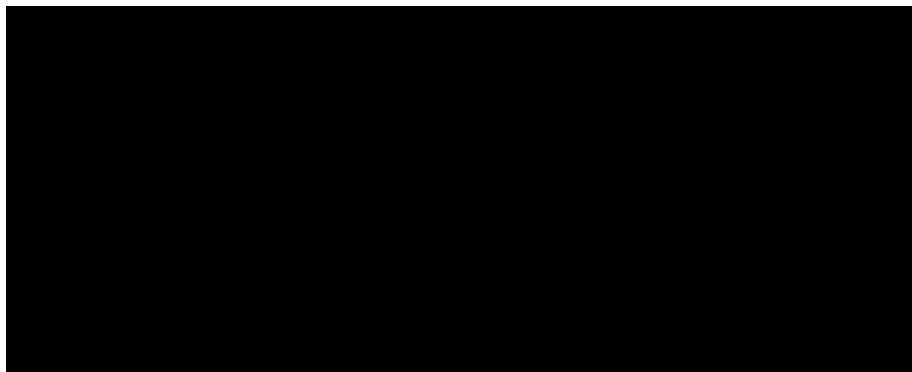


Obr. 22: Model základního rámu v softwaru NX I-Deas.

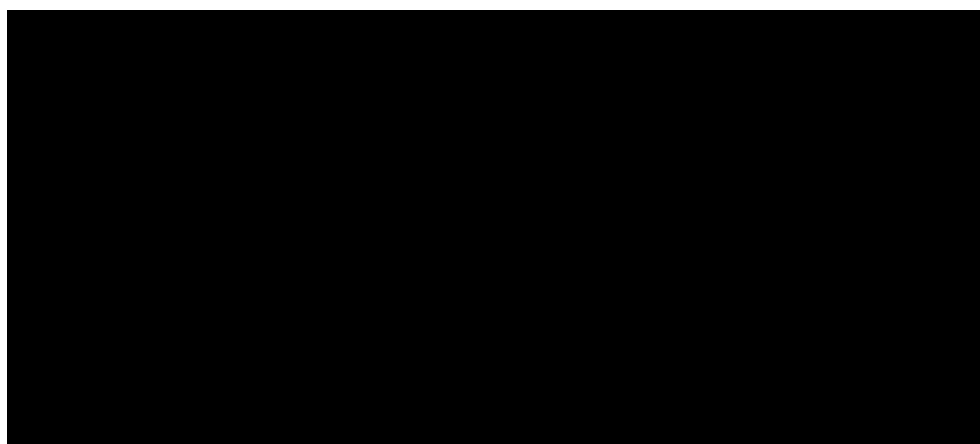
5.2 Tvorba modelu nakládacího ramene

Nakládací rameno bylo modelováno v základní složené poloze při nulovém vysunutí.

Při této poloze je uvažováno přenášení sil a následných napětí a deformací od výsuvné části do těla ramene. Rameno bylo modelováno jako jeden kus, kdy výsuvná část je uvnitř ramene pevně a opírá se o vnitřní stranu ramene v místech styku vymezených plechů a vnitřní plochy ramene. V těchto místech je výsuvná část pevně spojena s plochami ramene.




Obr. 23: Místa styku výsuvné části a ramene.



Obr. 24: Model nakládacího ramene v softwaru NX I-Deas.

5.3 Vytvoření konečnoprvkové sítě, vytvoření FEM modelu

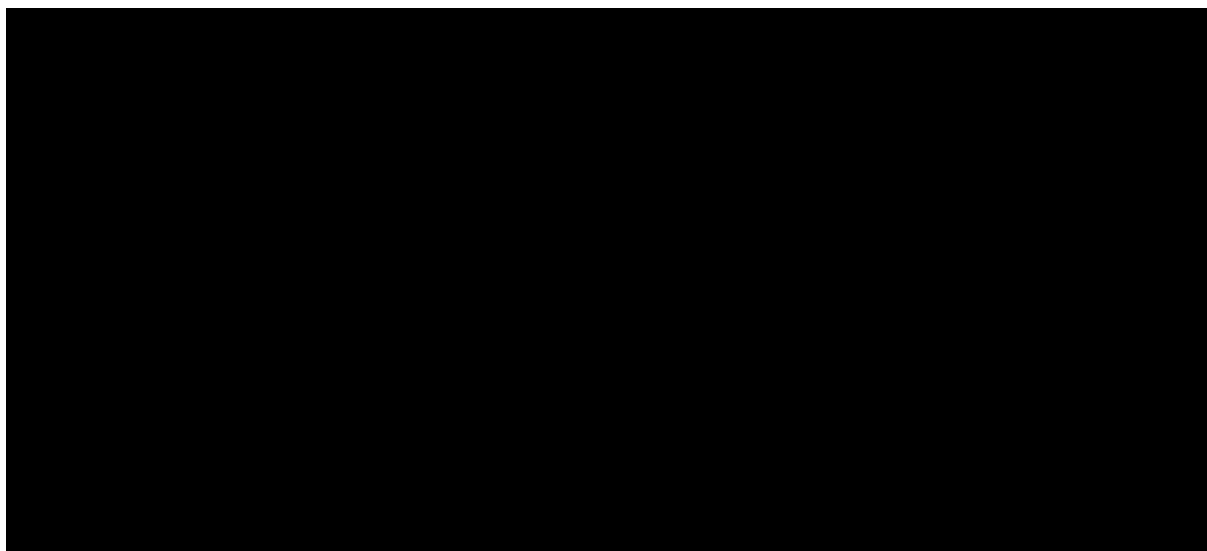
Model základního rámu a nakládacího ramene byl síťován dvourozměrnými prvky Thin Shell s definovanou tloušťkou. Elementy byly použity čtyř uzlové, na složitých plochách tří uzlové. Velikost elementů je u základního rámu 10 mm, v místech největších napětí je síť zjemněna a velikost elementu je zde 5 mm. Síť rámu tvoří  elementů

Nakládací rameno je celé síťováno 5 mm prvky se čtyřmi uzly. Sít' tvoří elementů.

Náhrady čepů jsou realizovány pomocí tuhých prvků Rigid.

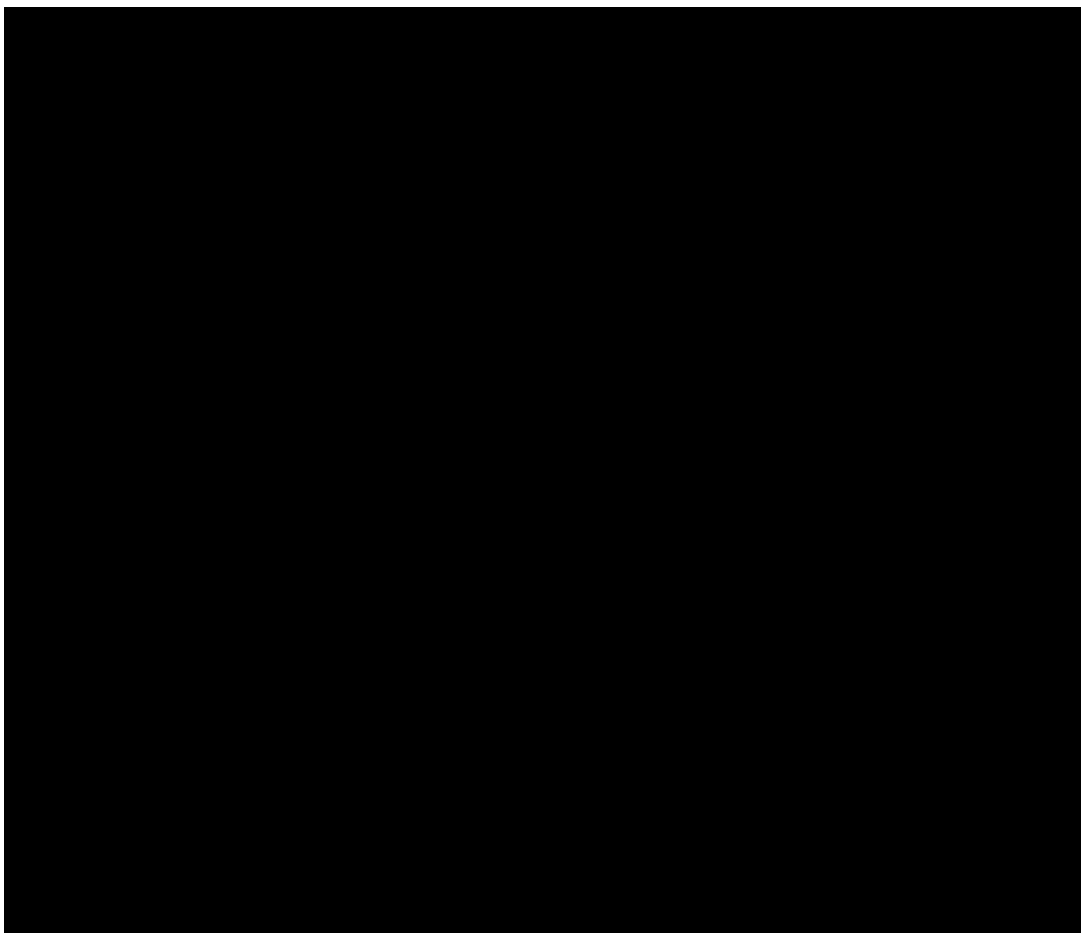


Obr. 25: Náhrada hřídele nakládacích ramen prvky rigid.



Obr. 26: Náhrada čepů u uložení hlavních PČH (vlevo) a uložení PČH výsuvu nohy (vpravo).

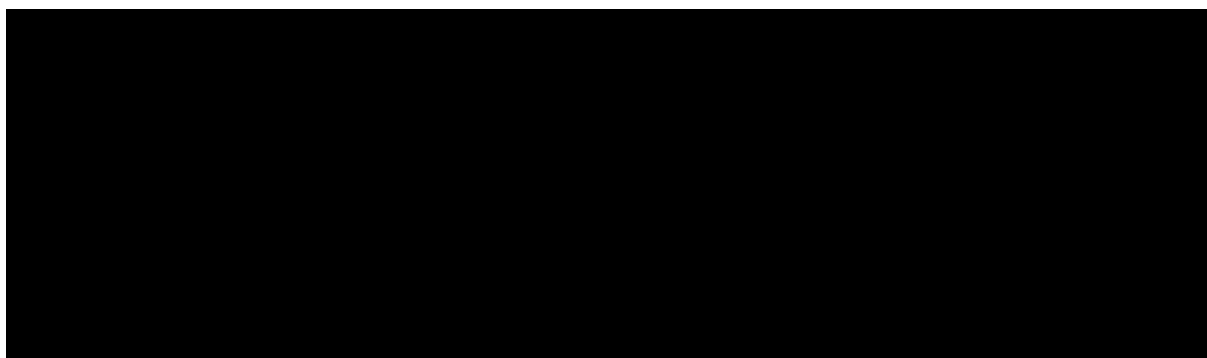
Obdobně jsou nahrazeny uložení na modelu nakládacího ramene.



Obr. 27: Tloušťky jednotlivých plechů a profilů základního rámu, pohled shora a ze spodu.

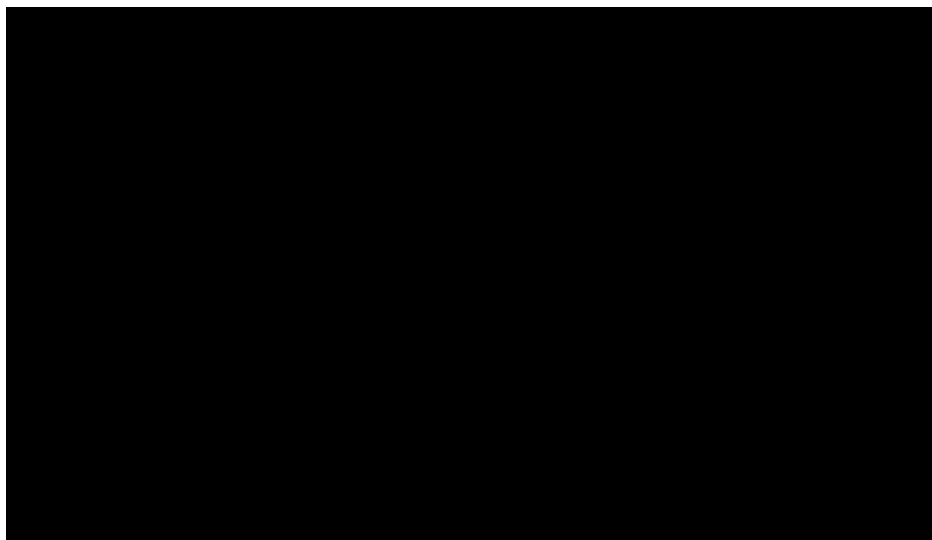
5.4 Definice okrajových podmínek

Okrajové podmínky na modelu jsou charakterizovány vazbami odpovídajícími vetknutí na všech místech výskytu plechů, díky kterým je základní rám nástavby usazen a připevněn na rám automobilu. Plechy jsou červeně vyznačeny na obr. 28.

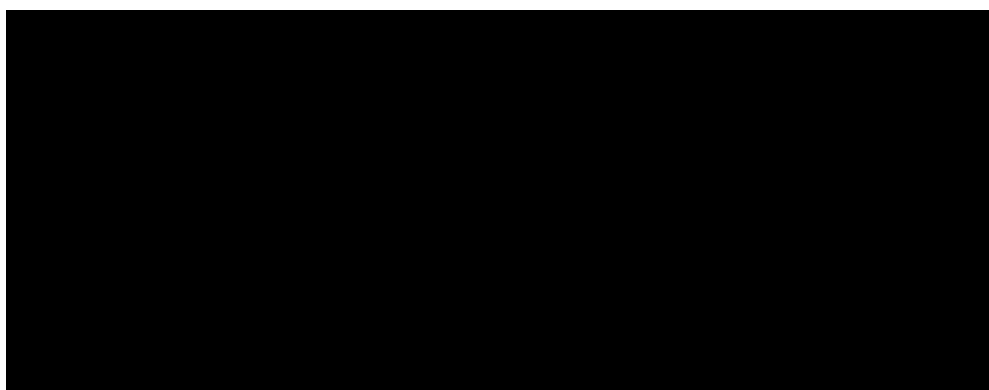


Obr. 28: Upevnění základního rámu na rám automobilu.

Síly jsou definovány do uzlů podle výsledků ze softwaru MSC.ADAMS. Označení uzlů na obrázku odpovídá označení v tab. 1. Síly jsou definovány pro oba zatěžovací stavy zvlášť.



Obr. 29: Definované síly a vazby na základním rámu.



Obr. 30: Definované síly a vazby na nakládacím rameni.

5. ANALÝZA PŮVODNÍHO RÁMU

5.1 Výpočet návrhové pevnosti a posouzení reálnosti výsledků

Návrhová pevnost nám určuje míru maximálního napětí v konstrukci, při zatížení. S ohledem na určitou velikost bezpečnosti. Přesněji s ohledem na spolehlivost ocelové konstrukce.

Konstrukce základního rámu nástavby nosiče je vyrobena ze svařovaným profilů z oceli [REDACTED], dříve označované podle české normy [REDACTED]. [7]

$$f_{yd} = \frac{R_e}{\gamma_M} \quad (1)$$

Známe:

$$R_e = \blacksquare \text{ MPa}$$
$$\gamma_M =$$

Po dosazení do vztahu (1) dostaneme hodnotu návrhové pevnosti.

[REDACTED]

Tato hodnota nám udává hranici nejvyššího možného napětí na základním rámu nástavby. Oblasti s napětím vyšším, než je hodnota návrhové pevnosti, jsou pro nás důležité a je nutné je blíže prozkoumat a stanovit příčinu, proč tato napětí vznikají.

Pokud se jedná o koncentrace napětí v místech svarů, nejsou tato dále zkoumána, jelikož svary jsou v modelu poddimenzovány a zjednodušeny pro ulehčení práce v prostředí softwaru NX I-Deas. Ve skutečnosti se v místech svaru počítá s větší tloušťkou materiálu. Skutečný tvar svaru by značně omezil vliv vrubu a změny tloušťky materiálu na vznik a koncentraci napětí.

Pro pevnostní analýzu jsou nejdůležitější části základního rámu, které jsou zobrazeny v detailech v následujících podkapitolách.

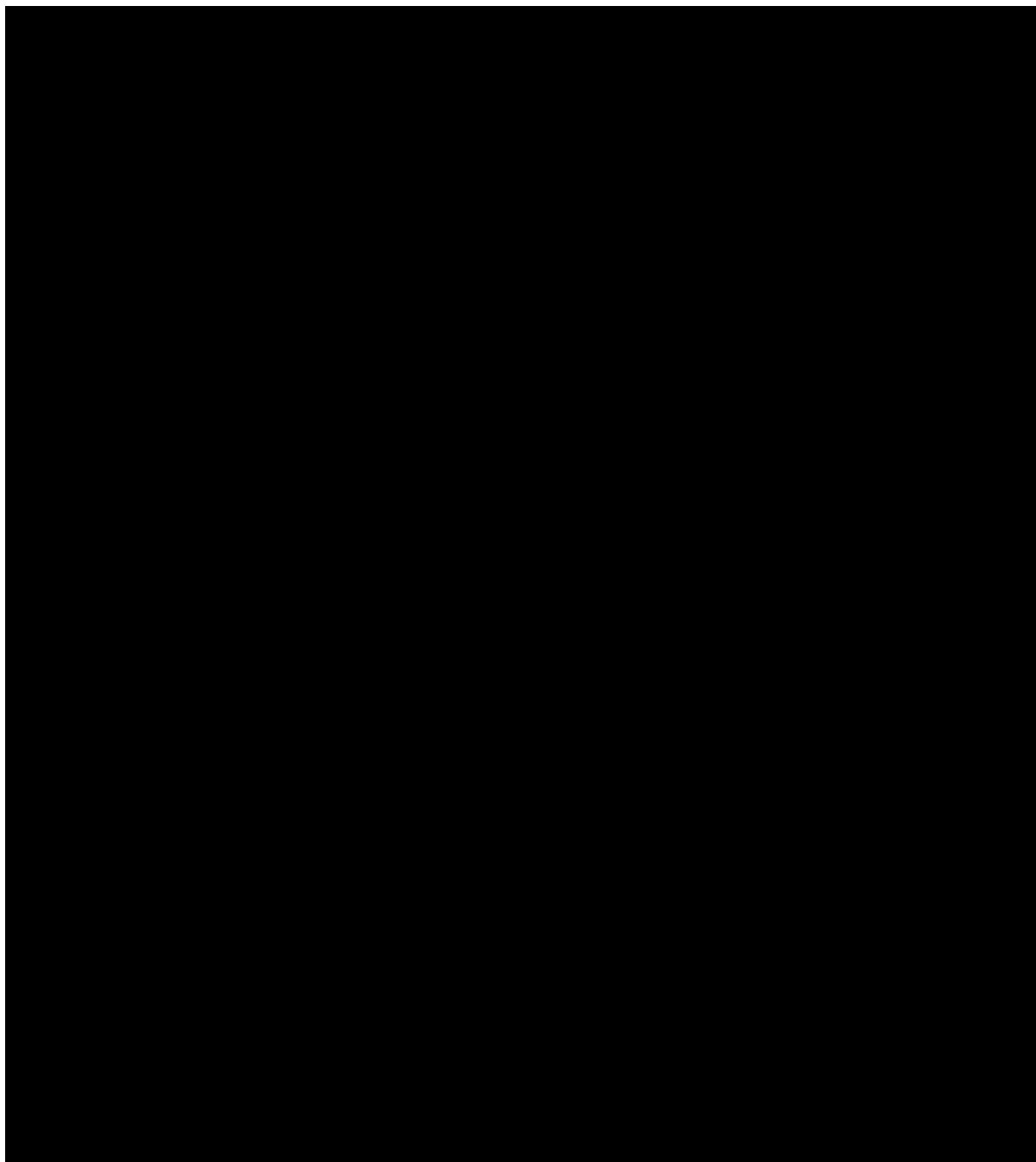


Zobrazené deformace a velikosti napětí jsou reálné.

5.1 První zatěžovací stav 140 sekund

První zatěžovací stav je charakterizován polohou ramen nejvíce v zadu a kontejner visí nad podložkou (terénem). Hlavní PČH dosáhly maximální síly nutné pro zasunutí pístů a tím zvedání nakládacích ramen.

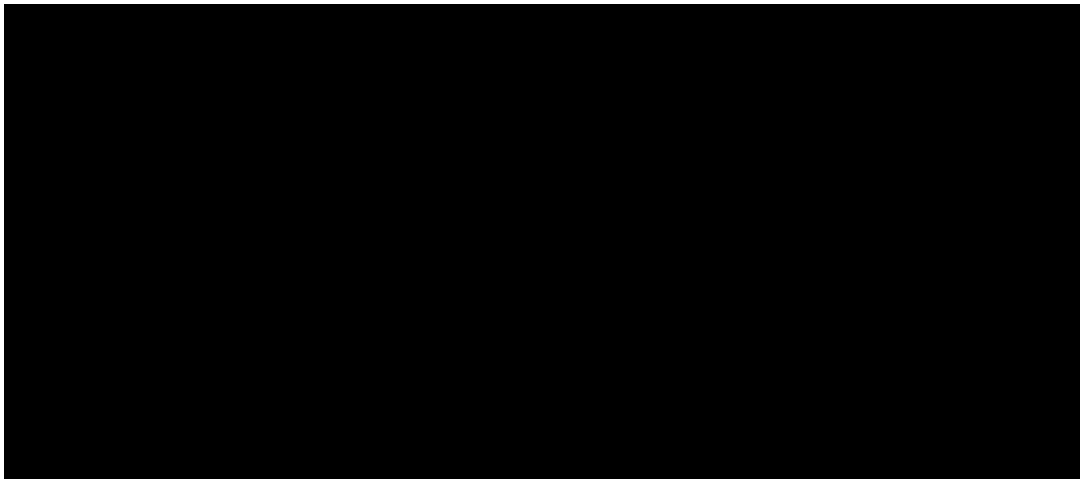




Obr. 31: Výsledky prvního zatěžovacího stavu na základním rámu.

5.1.1 Přední část rámu

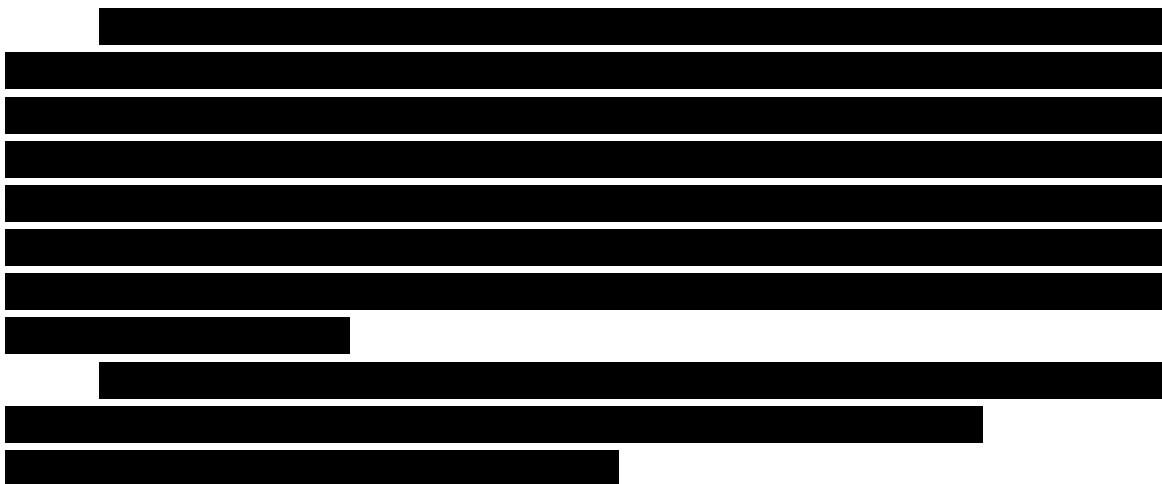


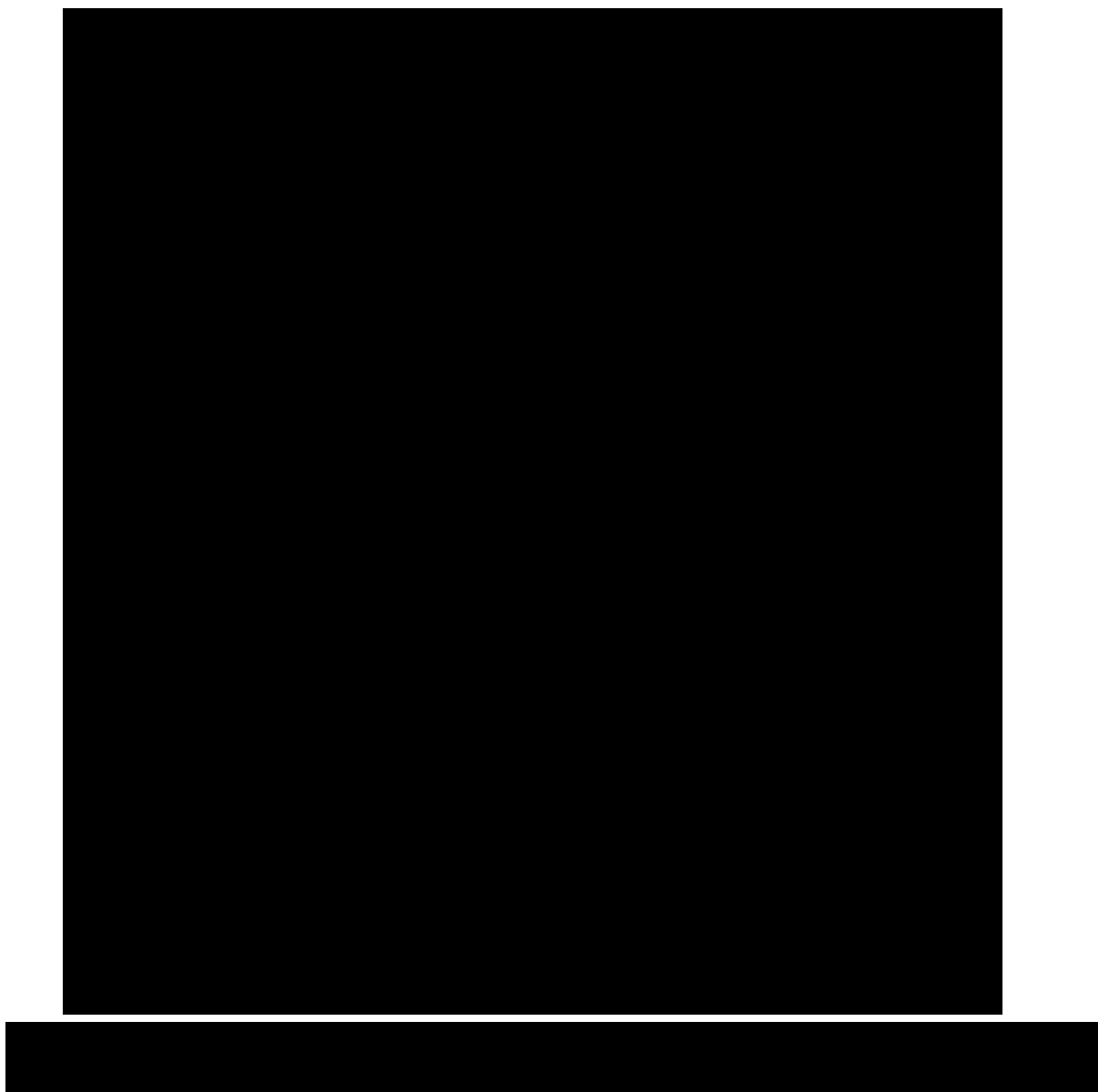


Obr. 32: Detaily koncentrace napětí na přední části rámu



5.1.2 Zadní část rámu



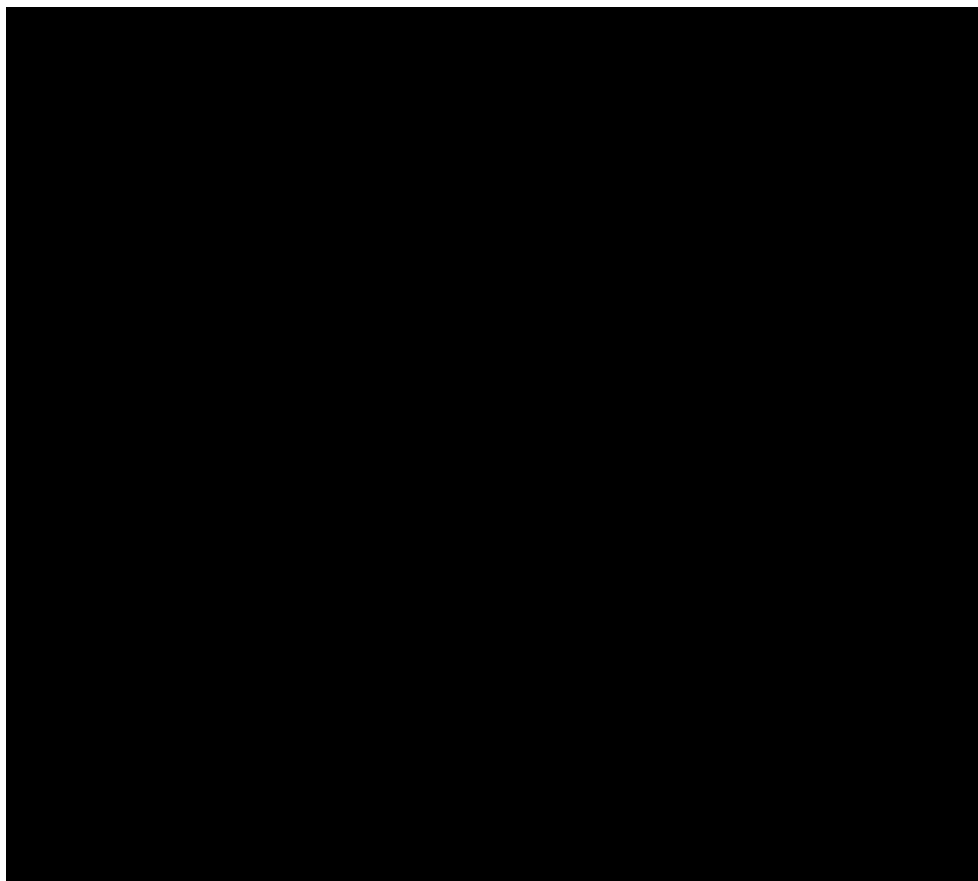


Obr. 33: Detaily koncentrace napětí na zadní části rámu

[Redacted text]

5.1.3 Napojení příček

[Redacted text]



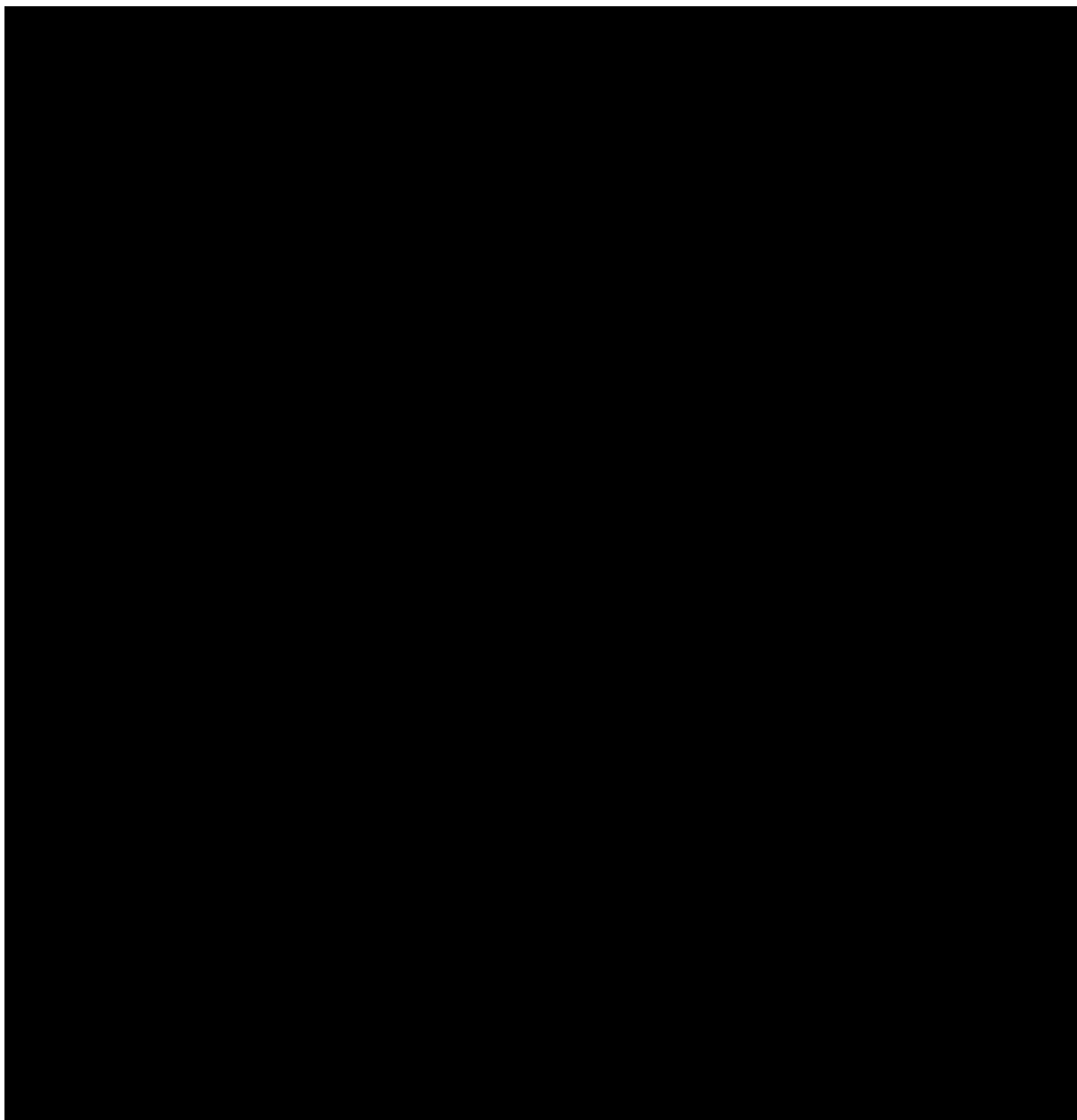
Obr. 34: Detaily koncentrace napětí v místě napojení příčky na boční profil rámu



5.2 Druhý zatěžovací stav 220 sekund

Druhý zatěžovací stav je charakterizován polohou ramen nejvíce ve předu, kontejner visí nad nákladním prostorem automobilu. Hlavní PČH dosáhly maximální síly nutné pro vysunutí pístů a tím zvedání nakládacích ramen.

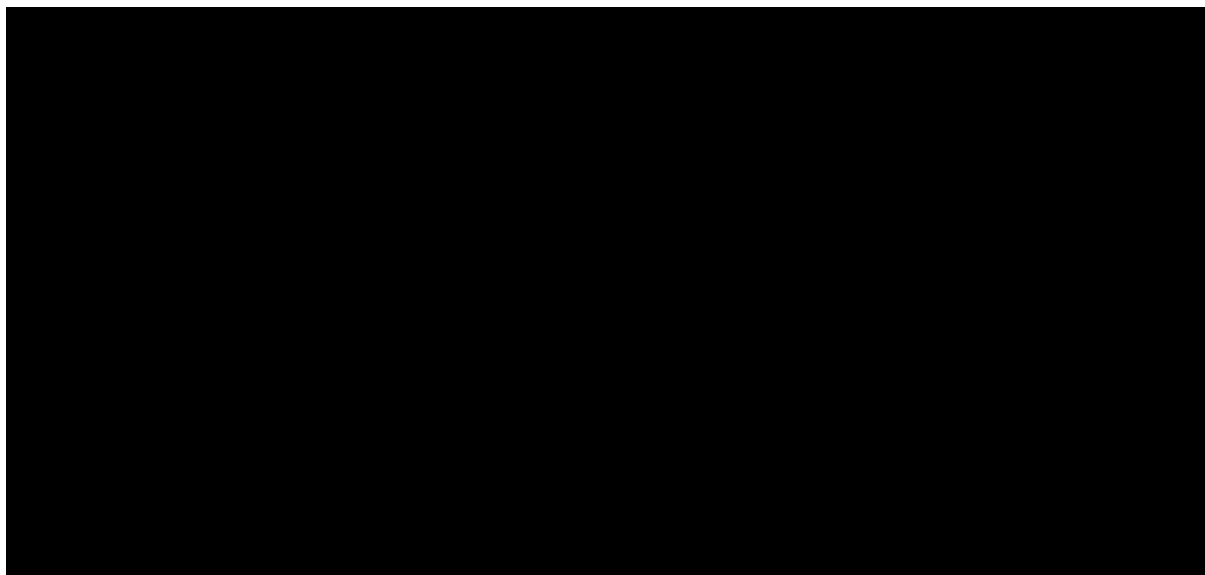
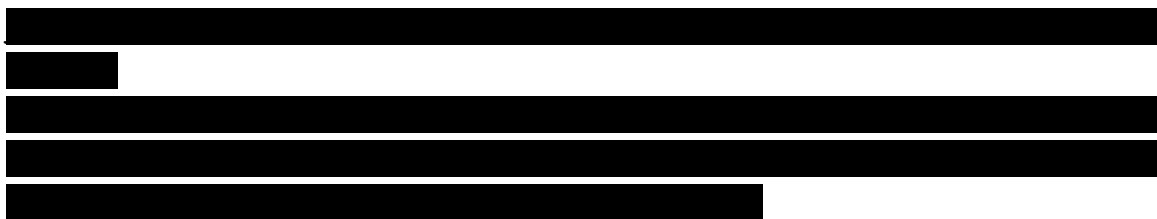




Obr. 35: Výsledky druhého zatěžovacího stavu základním rámu.

5.2.1 Přední část rámu



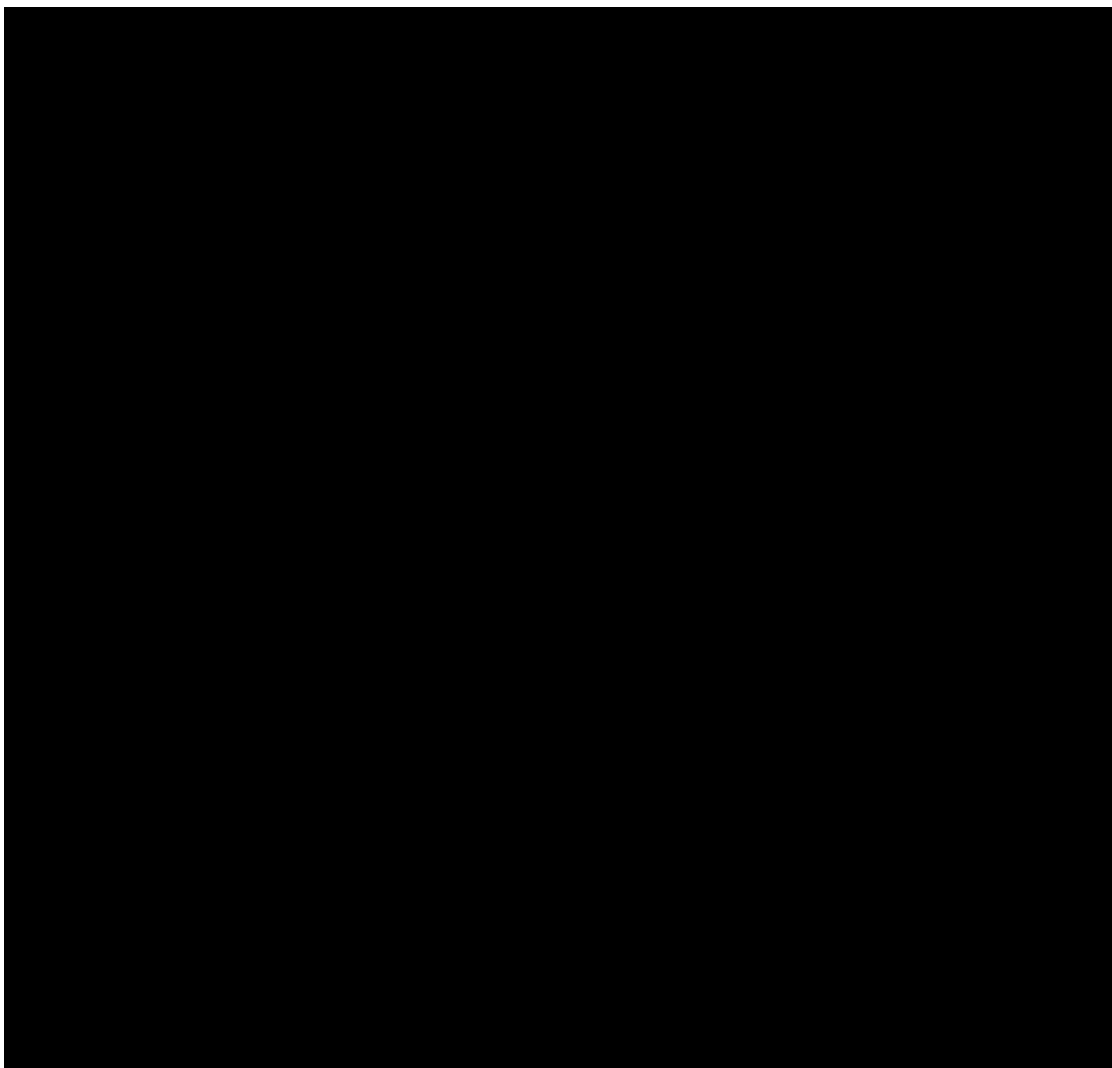


Obr. 36: Detaily koncentrace napětí na přední části rámu



5.2.2 Zadní část rámu



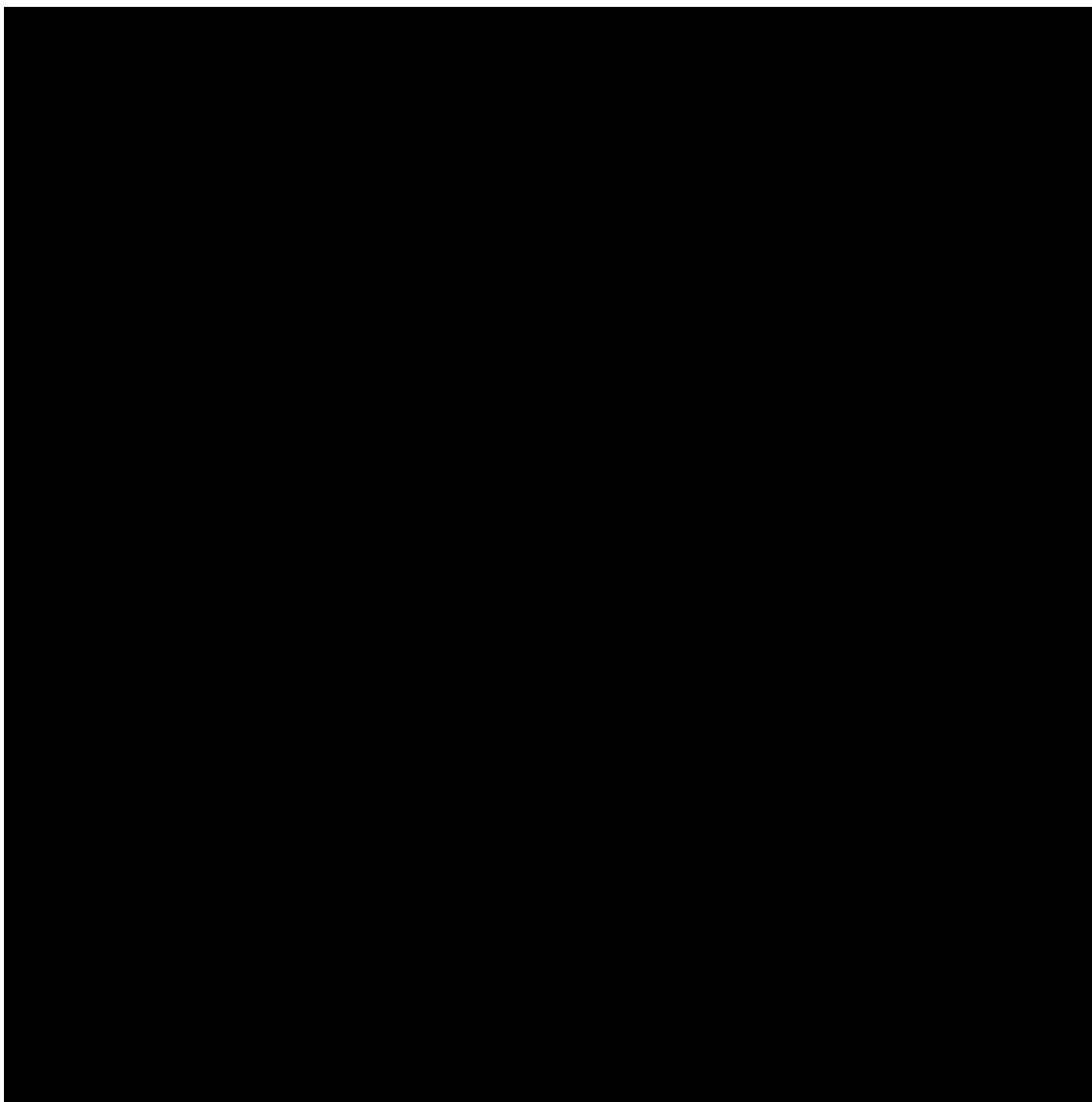


Obr. 37: Detaily koncentrace napětí na zadní části rámu



5.2.3 Napojení příček

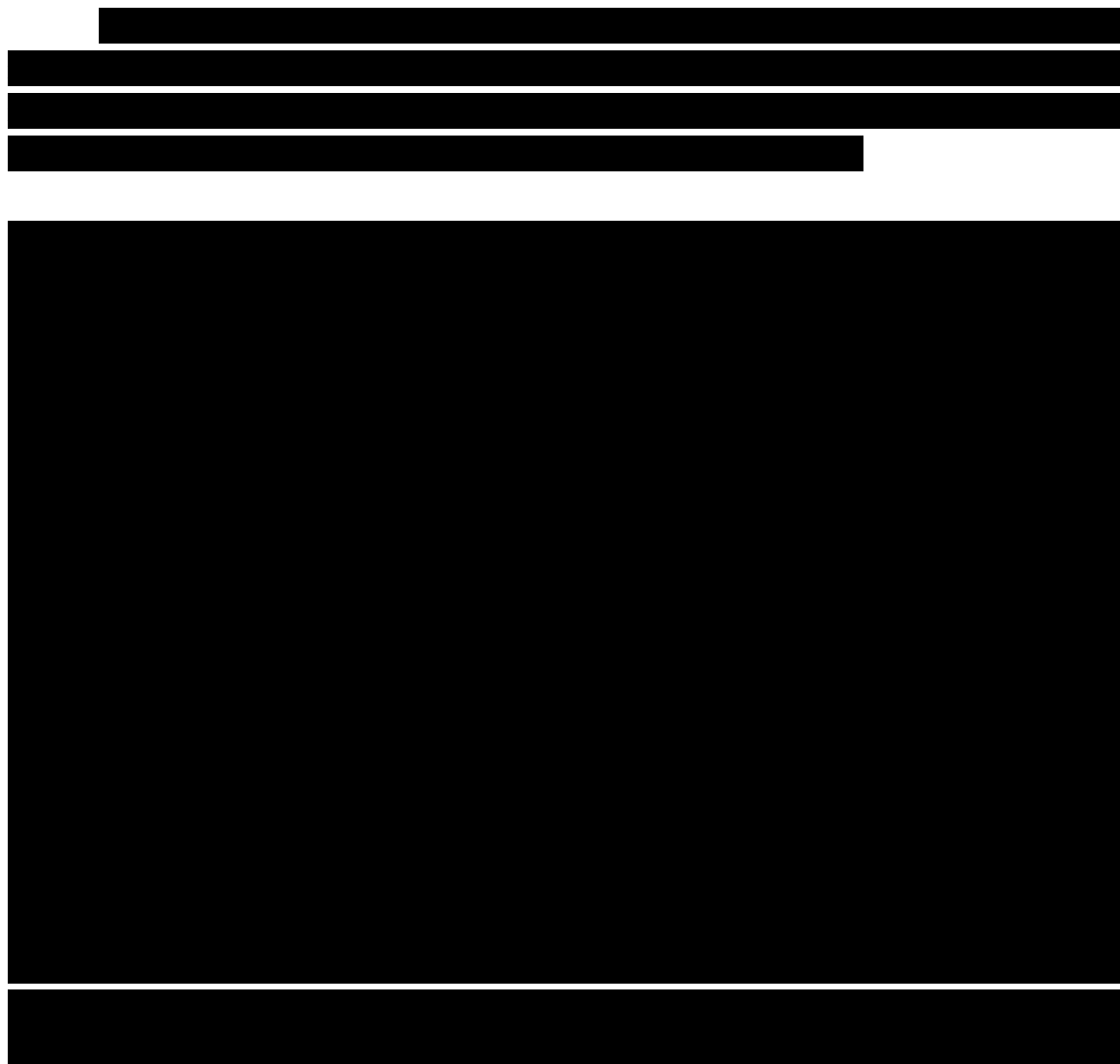




Obr. 38: Detaily koncentrace napětí v místě napojení příčky na boční profil rámu



5.3 Nakládací rameno



Obr. 39: Výsledky zatěžovacího stavu nakládacího ramene.



6. NÁVRH VHODNÝCH ÚPRAV RÁMU

Jak je z předešlých obrázků patrné, nejvíce napětí se přenáší do bočního obdélníkového profilu. Výrobce používá profil [REDACTED]. Z pevnostní analýzy vyplývá, [REDACTED]. Proto základní úpravou základního rámu [REDACTED], [REDACTED]



[REDACTED] Tato úprava způsobila zvýšení tuhosti základního rámu.

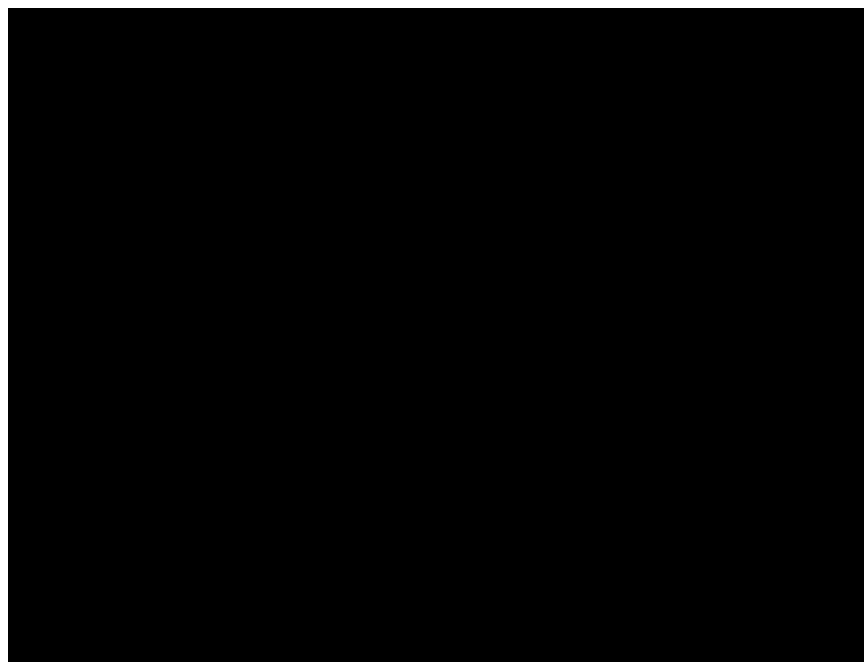
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Nejvýhodnější z hlediska snížení napětí, by bylo [REDACTED]
[REDACTED] To by zjednodušilo konstrukci této části nástavby a nebylo by třeba žádných složitějších vyztužení.

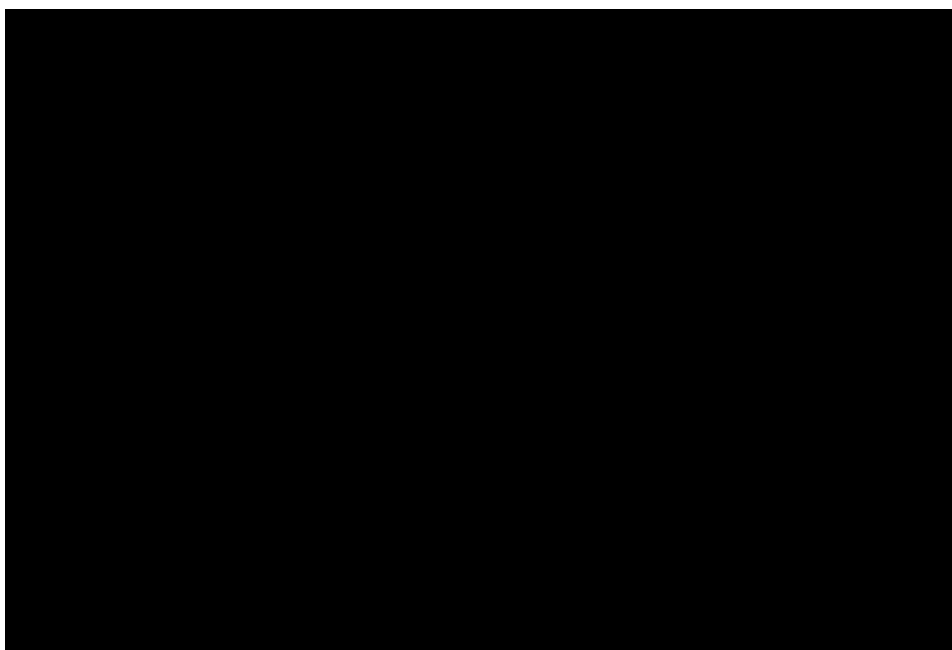
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Jelikož by tato úprava znamenala rozšíření nástavby a složitější upravení celé konstrukce, přiklonil jsem se k méně náročnému řešení.

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

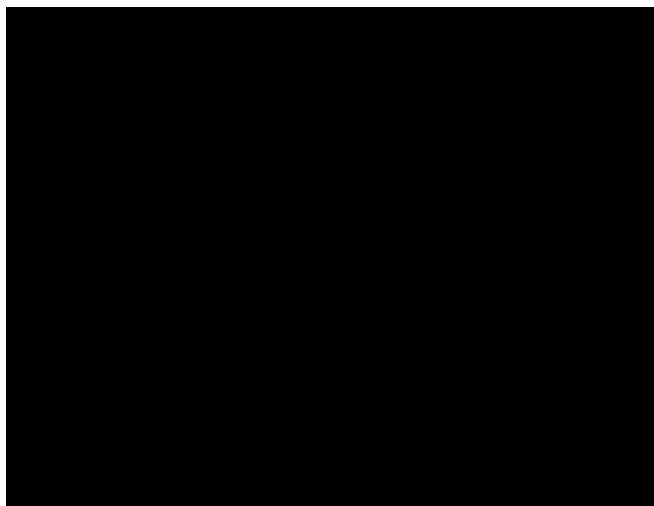


Obr. 40: Původní provedení závěsu hlavních PČH na přední straně základního rámu

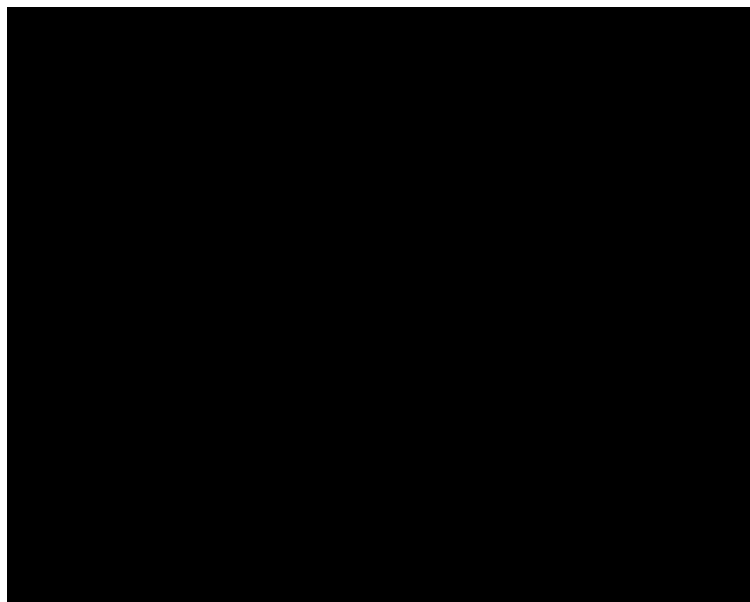


Obr. 41: Nové provedení závěsu hlavních PČH na přední straně základního rámu.



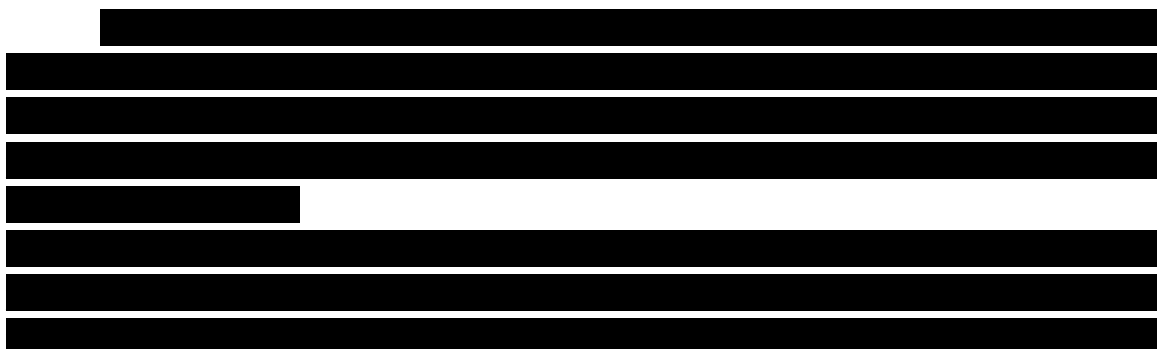


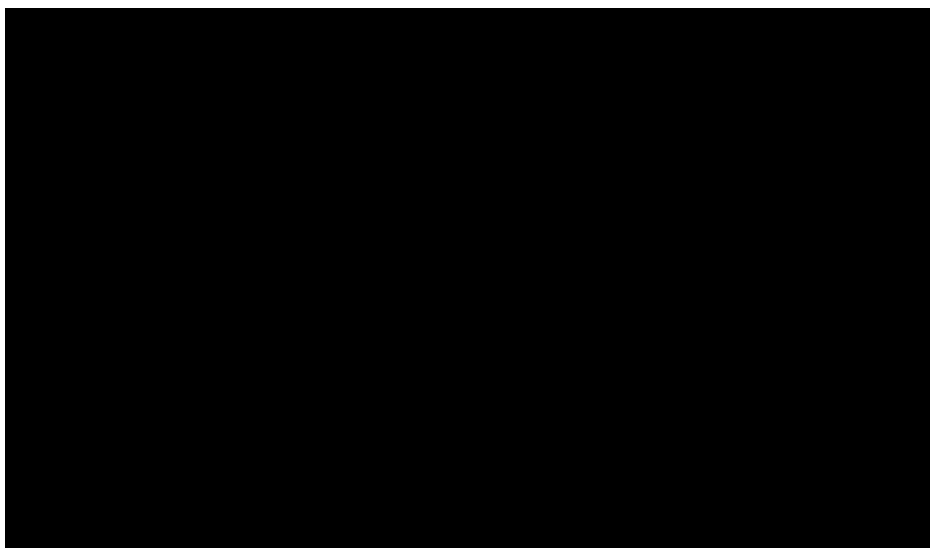
Obr. 42: Původní čep závěsu hlavního PČH



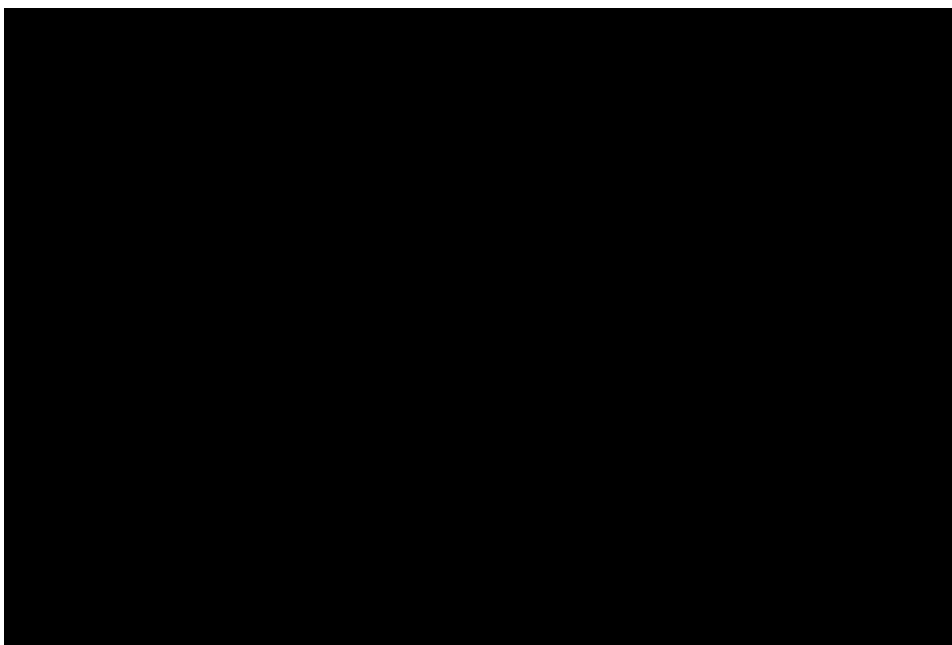
Obr. 43: Nový čep závěsu hlavního PČH

Nový čep byl vytvořen ze stejného materiálu a stejnou technologií jako čep původní. Jelikož jde o dlouhou dobu používanou a prověřenou součást, není třeba provádět pevnostní analýzu.

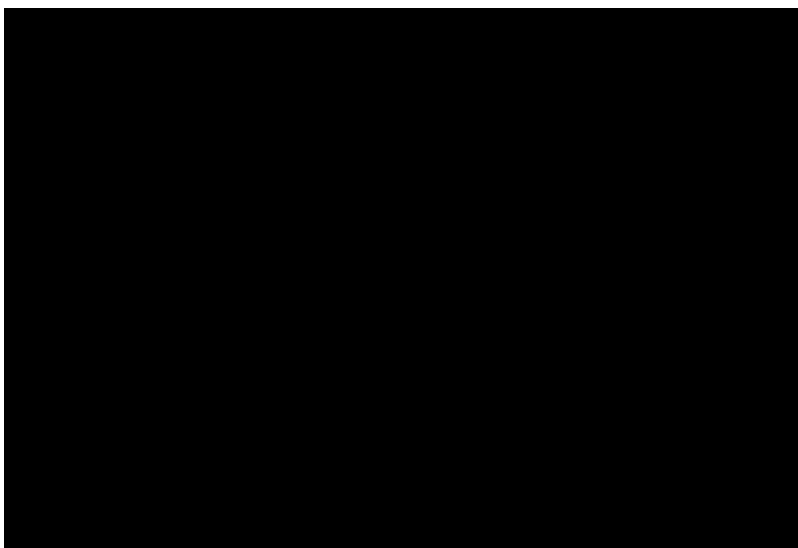




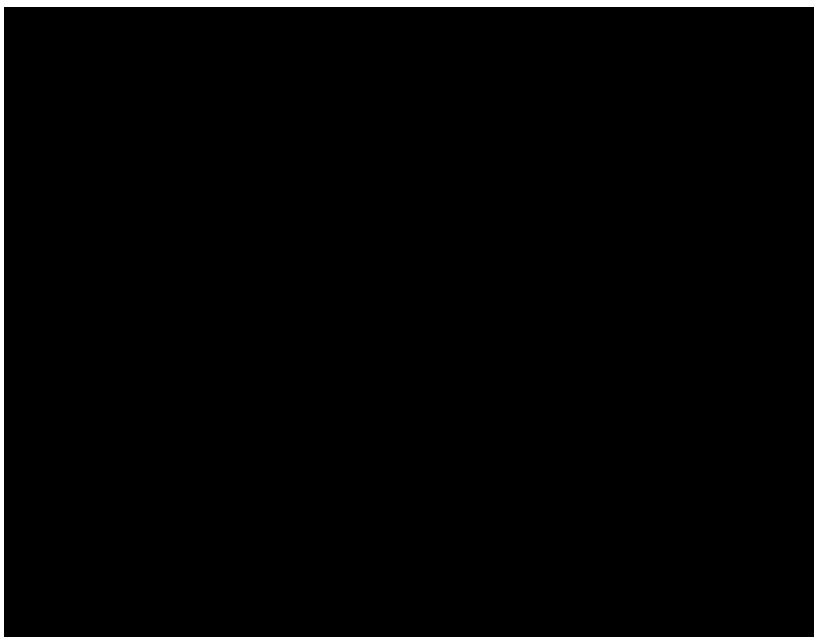
Obr. 44: Původní provedení výztuže spojení nohy a bočního profilu.



Obr. 45: Nové provedení výztuže spojení nohy a bočního profilu.



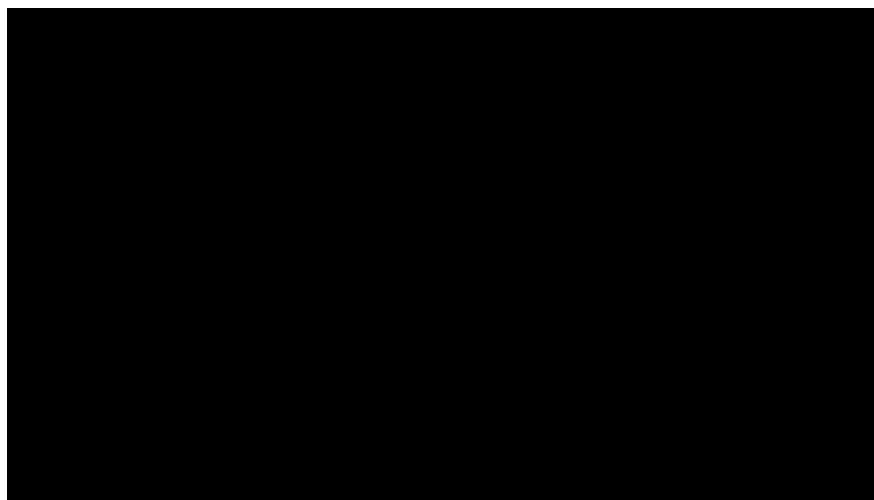
Obr. 46: Původní provedení horního konce podpěrné nohy.



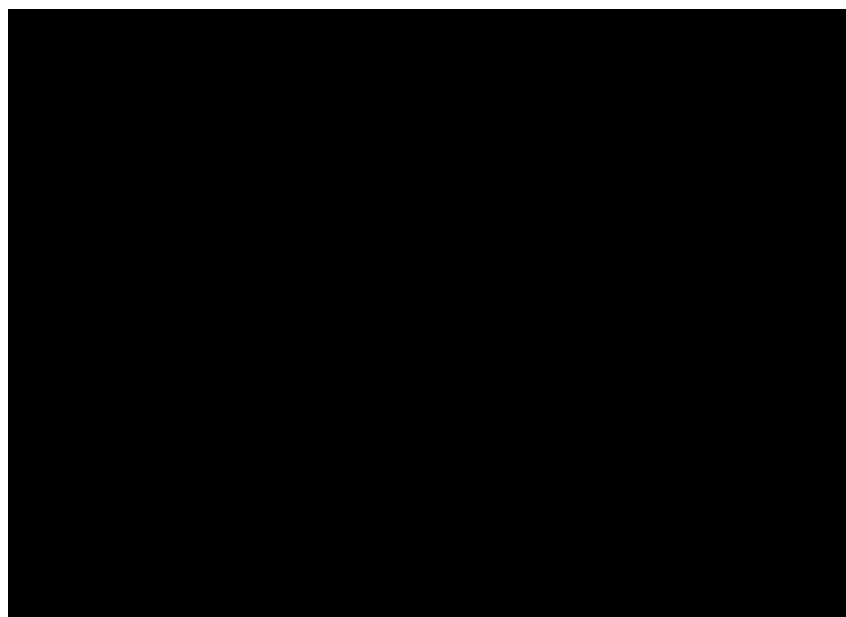
Obr. 47: Nové provedení horního konce podpěrné nohy.



Jde o úpravu, která nijak nezasahuje do původního uspořádání základního rámu. Jedná se pouze o přivaření vyztužujících žeber na plochy podle obr. 49.



Obr. 48: Původní provedení napojení příček na obdélníkový profil.



Obr. 49: Nové provedení napojení příček na obdélníkový profil.

Všechny uvedené úpravy znamenají mírný nárůst hmotnosti nástavby

Po všech provedených úpravách se hmotnost základního rámu nástavby zvýšila o . Přidaná hmotnost není až tak závratná a nezpůsobuje žádné komplikace ohledně provozu po pozemních komunikacích.

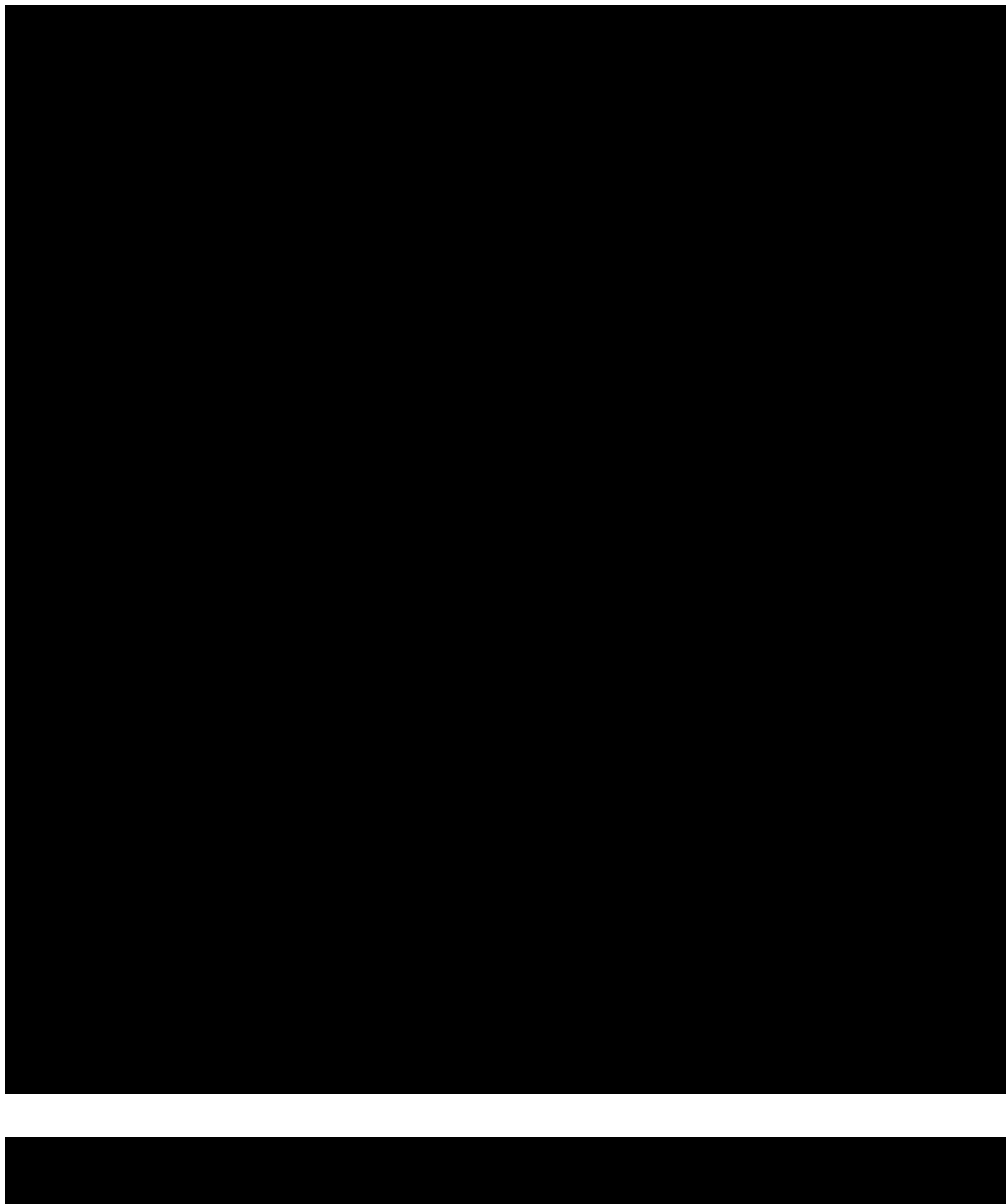
7. ANALÝZA UPRAVENÉHO RÁMU

Základní rám nástavby nosiče byl po všech úpravách a změnách opět analyzován ve výpočtovém programu NX I-Deas.

Jak už bylo výše uvedeno, není brán zřetel na koncentrace napětí způsobené náhradami svarů nebo v místech velkých rozdílů tloušťky svařovaných součástí bez modelového definování svarů. V reálném modelu tato napětí nevznikají nebo jsou mnohem menší než u modelu pro pevnostní analýzu.

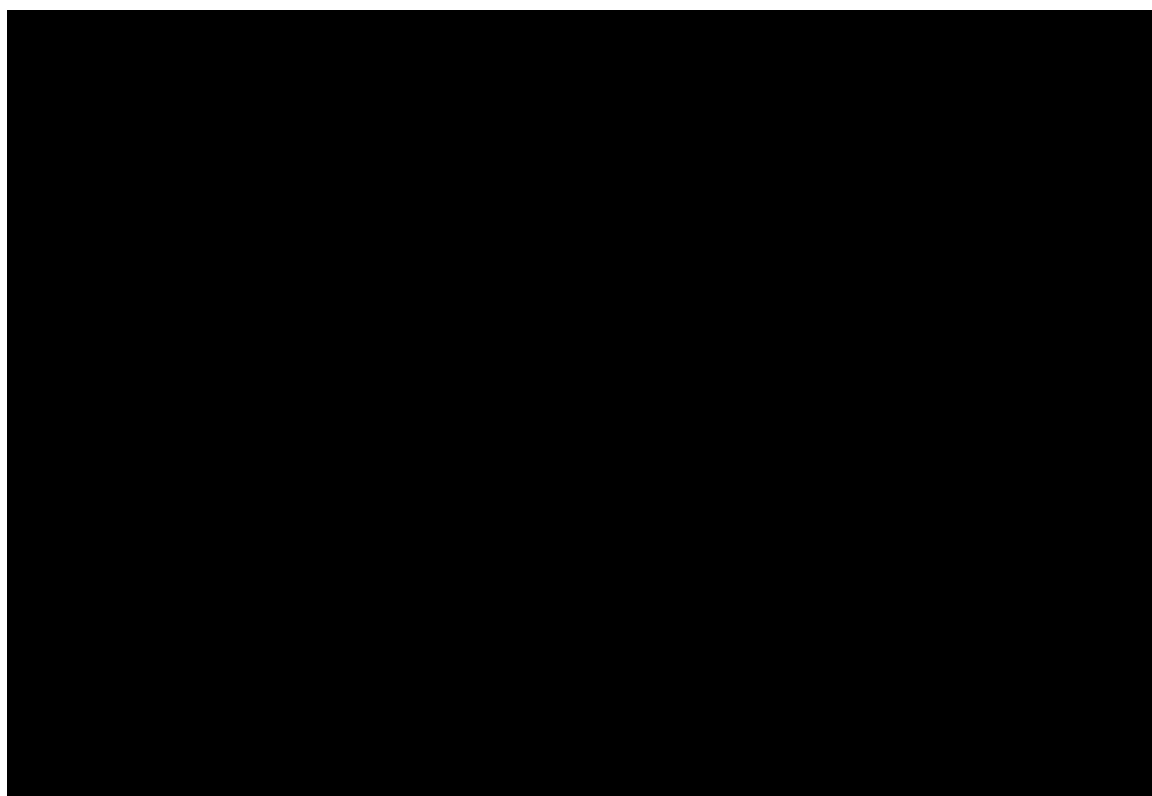
Velmi důležité je splnění požadavku na návrhovou pevnost konstrukce. Tento požadavek byl splněn

7.1 První zatěžovací stav 140 sekund.



Obr. 50: Výsledky prvního zatěžovacího stavu upraveného základním rámu.

7.1.1 Přední část rámu

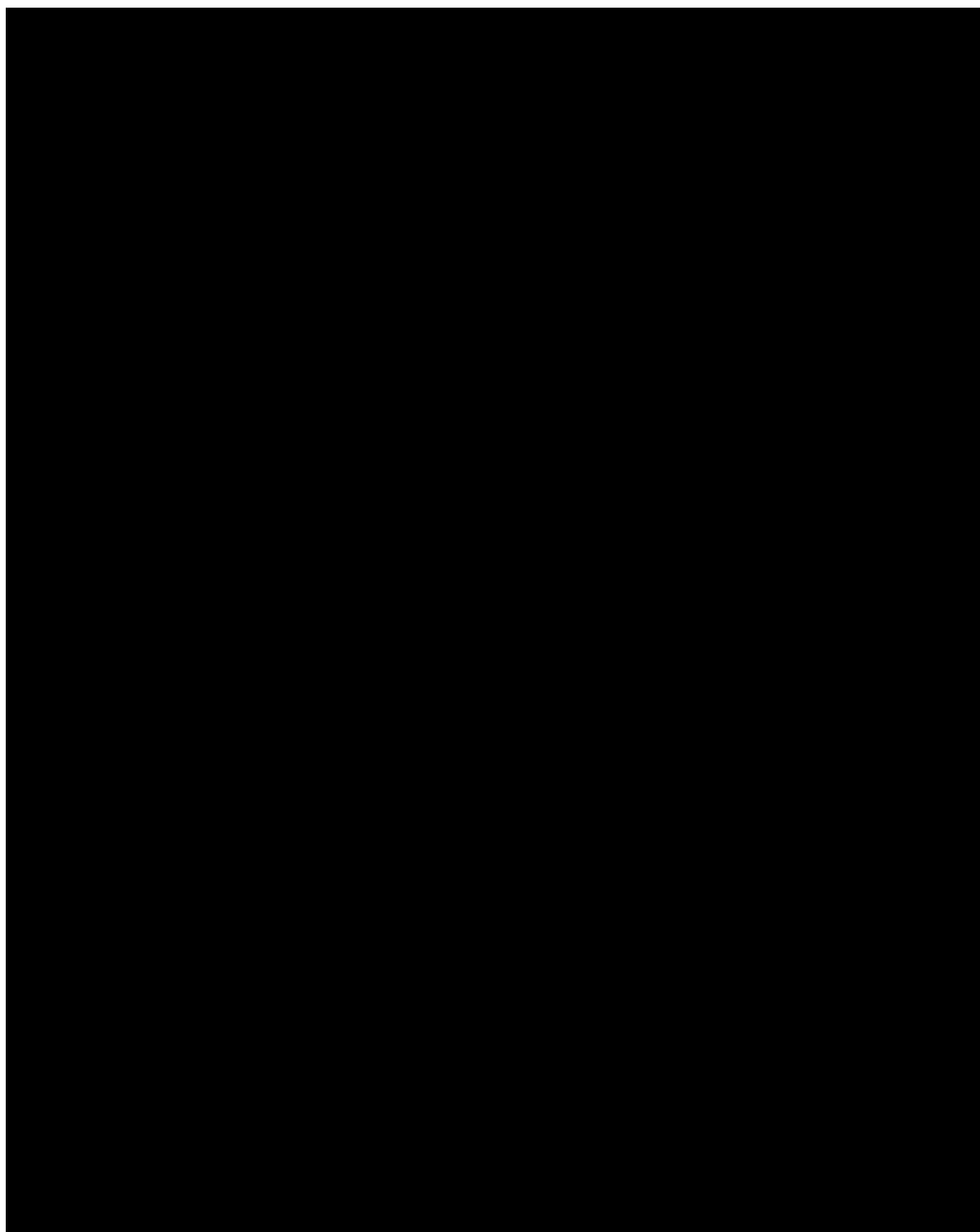


Obr. 51: Detaily přední části upraveného rámu



7.1.2 Zadní část rámu

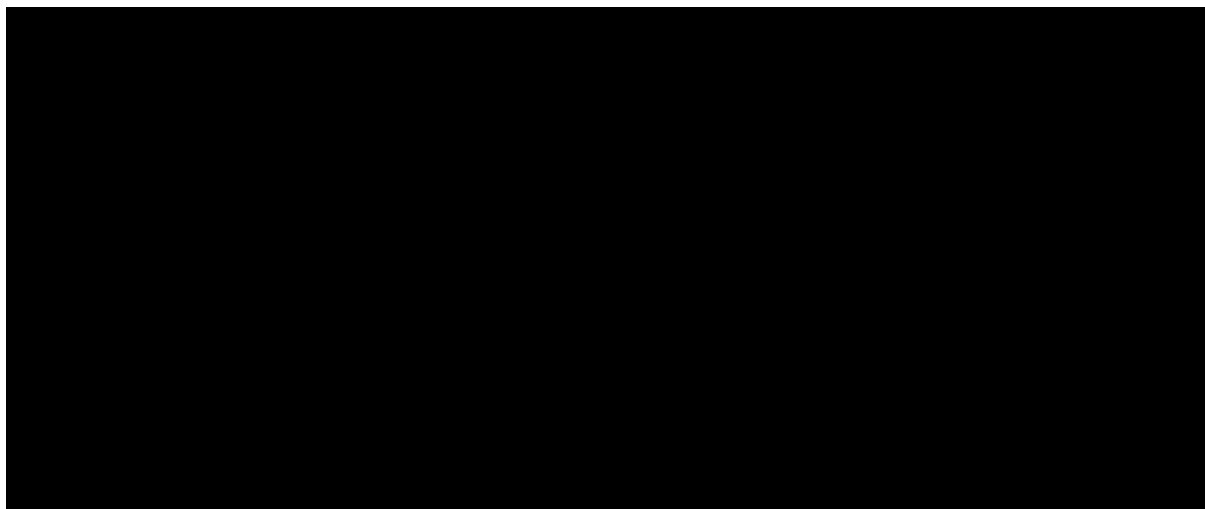




Obr. 52: Detaily zadní části upraveného rámu



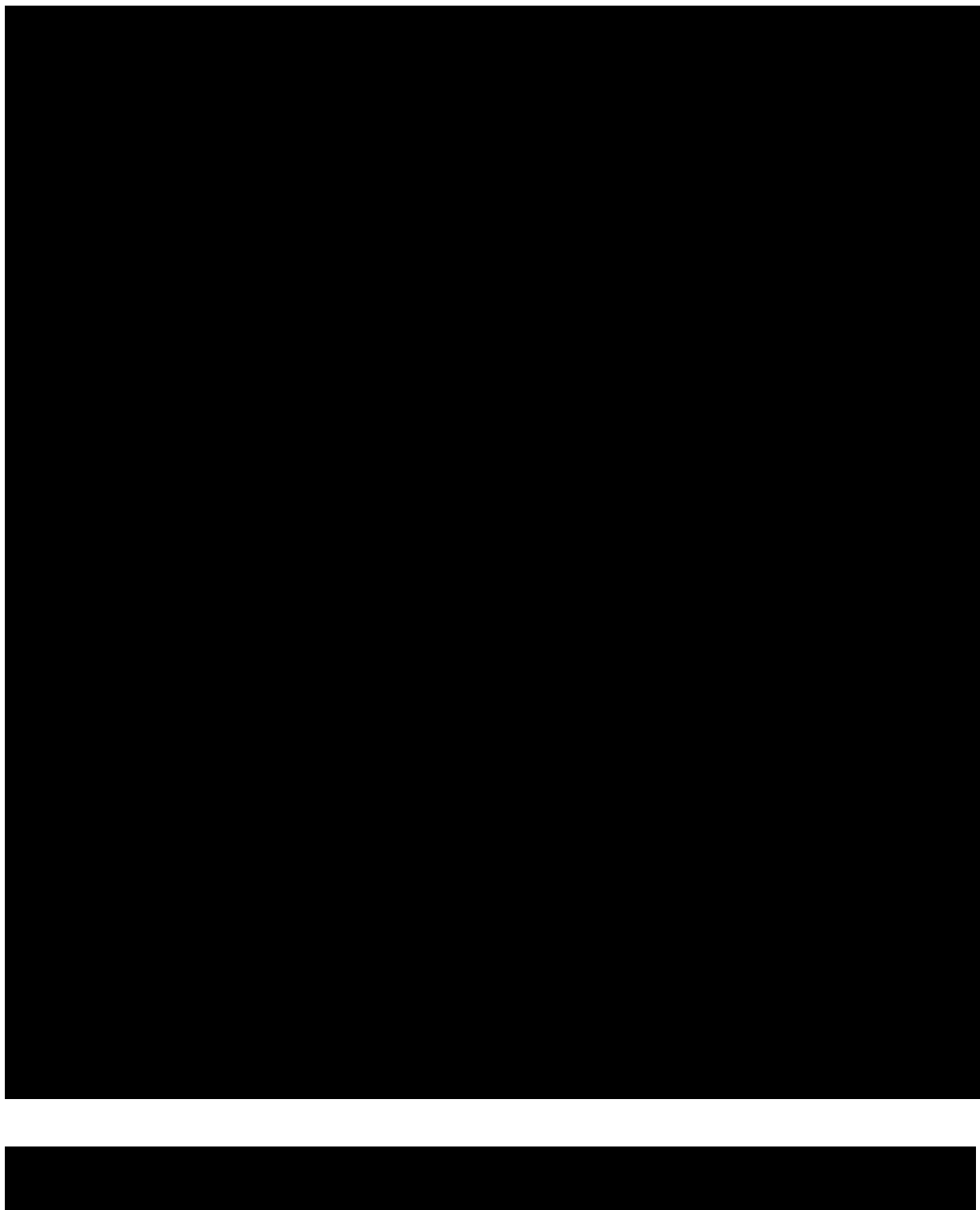
7.1.3 Napojení příček



Obr. 53: Detaily napojení příčky na boční profil upraveného rámu




7.2 Druhý zatěžovací stav 220 sekund

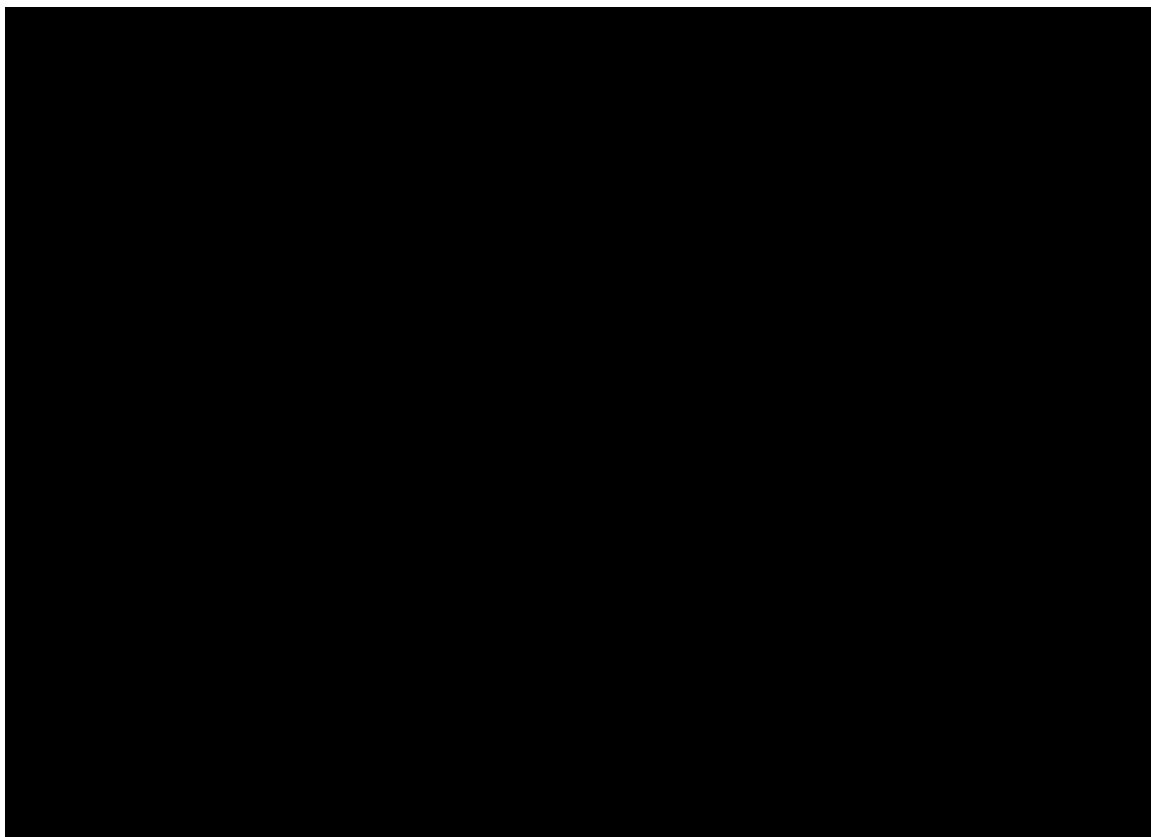


Obr. 54: Výsledky druhého zatěžovacího stavu upraveného základním rámu.

7.2.1 Přední část rámu

Přední část rámu i pro druhý zatěžovací stav vykazuje podobné zatížení jako při prvním zatěžovacím stavu. Hodnoty maximálních napětí jsou pod hodnotou návrhové pevnosti. 








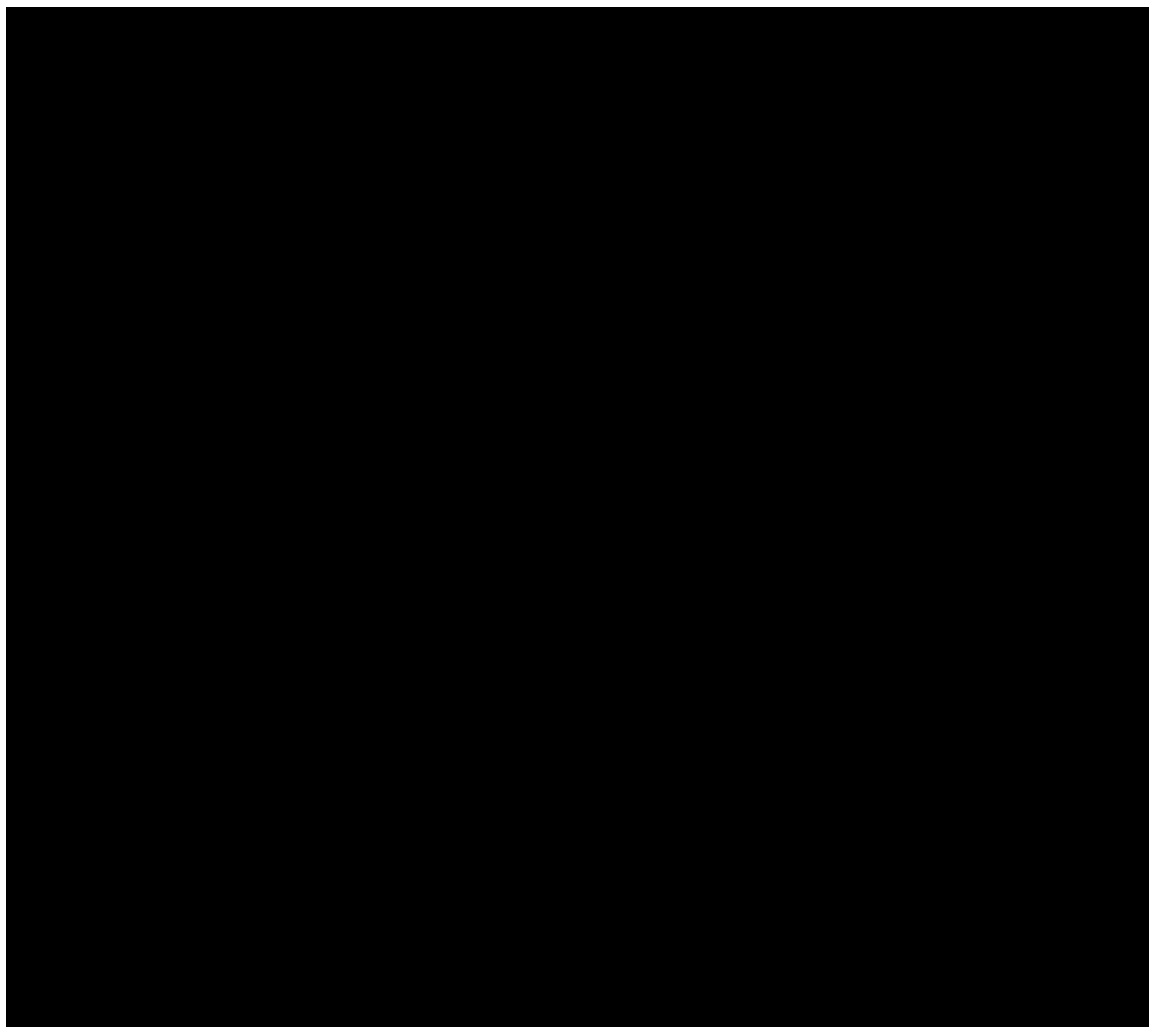
Obr. 55: Detaily přední části upraveného rámu

.

7.2.2 Zadní část rámu

Zadní část rámu při druhém zatěžovacím stavu, odpovídající simulačnímu času 220 sekund, 

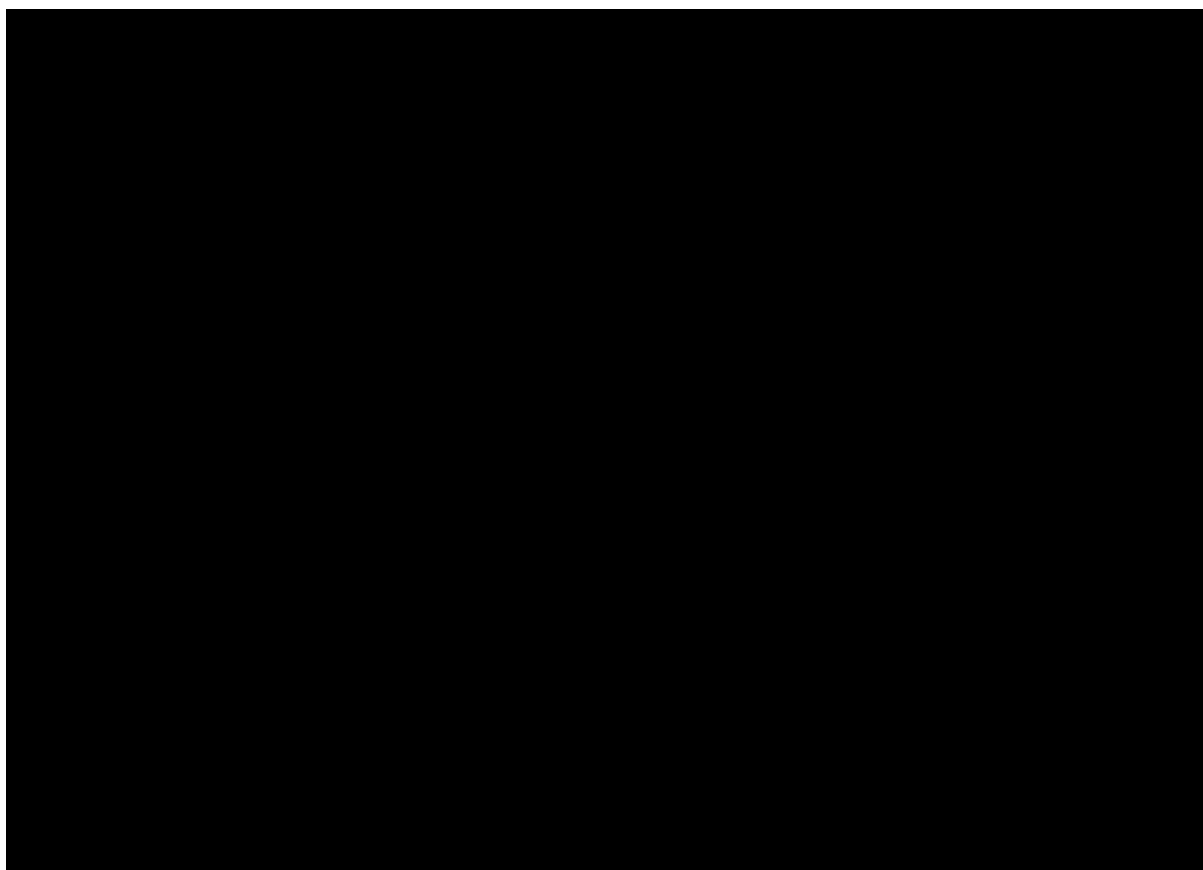
 Maximálních napětí zde dosahují hodnot, nižších než je hodnota návrhové pevnosti. .



Obr. 56: Detaily zadní části upraveného rámu



7.2.3 Napojení příček



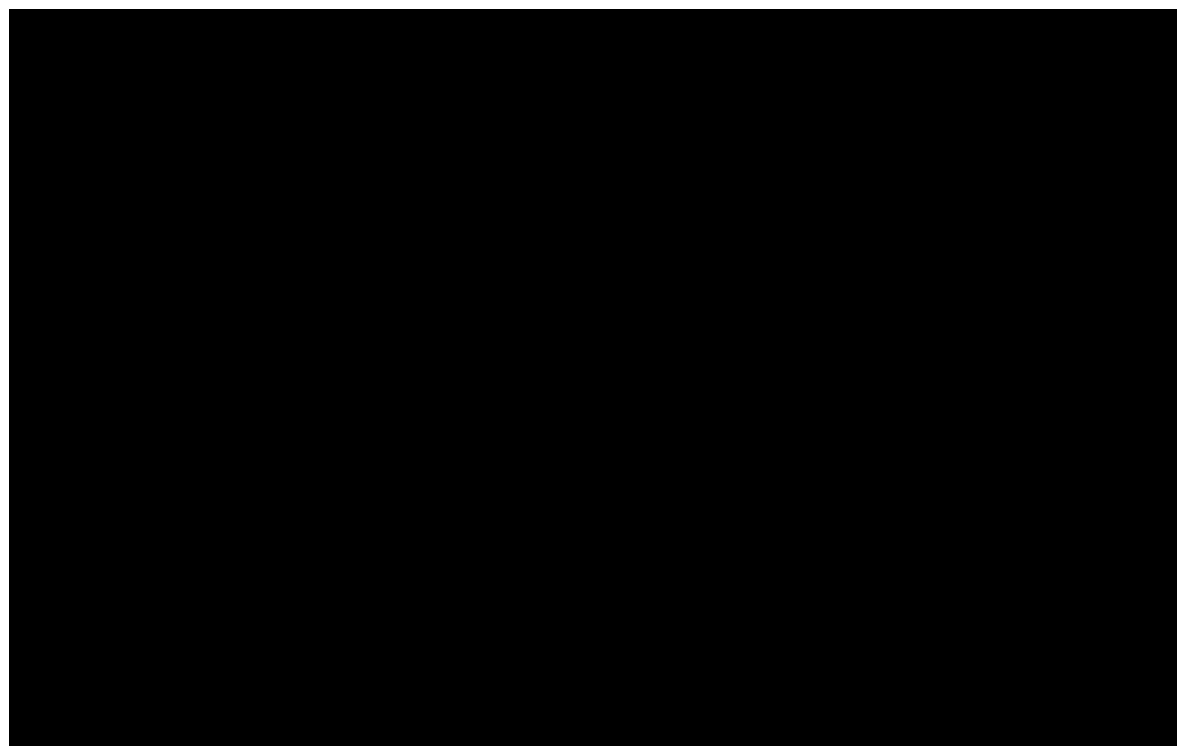
Obr. 57: Detaily napojení příčky na boční profil upraveného rámu



7.3 Nakládací rameno

[redacted] bylo nutné provést pevnostní analýzu, pro ověření, že nedošlo k velkým změnám v rozložení napětí na konstrukci ramen.

[redacted]



[redacted]

Obr. 58: Výsledky zatěžovacího stavu nakládacího ramene.

[redacted]

8. ZÁVĚREČNÁ ČÁST

V této kapitole je celkové shrnutí poznatků ze zpracovávání výsledků pevnostní analýzy základního rámu nástavby ramenového nosiče kontejnerů. Jde o celkové nastínění problematiky provázející návrh a následné odůvodnění úprav na konstrukci základního rámu a nakládacích ramen nástavby.

8.1 Shrnutí

Všechny simulace a následné okrajové podmínky pro výpočet MKP byly odvozeny od podmínky, [REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Po všech úpravách [REDACTED] a po vyhodnocení výsledků pevnostní analýzy je [REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

[REDACTED] stanovenou výpočtem v kapitole 5.1, kdy hodnoty středního napětí, podle podmínky HMM, jsou pod hodnotou návrhové pevnosti. [REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Dalším ohledem při navrhování konstrukčních úprav byla hmotnost základního rámu a tím i celé nástavby nosiče. [REDACTED]

[REDACTED] Po úpravách, přídavek materiálu vyvolal nárůst hmotnosti „pouze [REDACTED]“. Tento nárůst hmotnosti je vzhledem k hmotnosti celé nástavby [REDACTED] mírný, a nevyvolá žádné větší rozdíly v zatížení nákladního vozidla, ani v zatížení vozovky.

Důležitým parametrem po úpravě je jistě i cena upravené nástavby. Ovšem po výše uvedeném nárůstu hmotnosti, nebude ani nárůst ceny, v závislosti na hmotnosti použitého materiálu, nijak závažný. Proto považujeme všechny úpravy nejen za vyhovující, vhodné, ale i výhodné.

8.2 Závěr

V této závěrečné diplomové práci jsem prováděl počítačovou simulaci manipulace nákladního automobilu, osazeného ramenovým nosičem kontejnerů, s břemenem o celkové hmotnosti 13 tun. Simulace probíhala v softwaru MSC.Adams, z něhož bylo hlavním výstupem dat zjištění reakcí sil od zatížení v hlavních vazebních uzlech na konstrukci základního rámu.

Ze získaných reakcí a zpracovaných grafů jsem stanovil zatěžovací stavy, které odpovídají okamžiku, kdy je základní rám zatížen největšími silami vyvolanými hlavními PČH.

Zjištěné síly jsem definoval jako okrajové podmínky pro výpočet pevnostní analýzy MKP v softwaru NX I-Deas.

Výsledky pevnostní analýzy jsem zpracoval a vyhodnotil. Na základě výsledků jsem určil nejvíce namáhané oblasti a prvky na konstrukci základního rámu a nakládacích ramen.

Dále jsem navrhnul konstrukční úpravy analyzovaného základního rámu. [REDACTED]

[REDACTED] Nakládací ramena nejsou namáhána velkými napětími, a tudíž nepotřebovala žádné konstrukční úpravy.

[REDACTED]

Po zvolených úpravách, pevnostní výpočet potvrdil značné snížení napětí pod hodnotu návrhové pevnosti. Pouze v místech koncentrace napětí v malých oblastech, zůstala hodnota napětí, blížící se hodnotě meze kluzu. S ohledem na reálné chování konstrukce, je však i v těchto případech konstrukce vyhovující.

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOVOK Jeseník [online]. 2012 [cit. 2012-01-10].
Dostupné z: <www.kovok.jesenik.com>
- [2] CTS Containers. [online]. 2012 [cit. 2012-01-10].
Dostupné z: <www.cts-servis.cz/produkty/kontejnery/>
- [3] FORNAL trading s.r.o. [online]. 2012 [cit. 2012-01-10]
Dostupné z: <<http://www.fornal.cz/htm/nkr1.php>>
- [4] KOPŘIVA, Petr. *Landwirtschafts Simulator 2011 - Traktor Zetor simulátor 2011* [online]. 2011 [cit. 2011-11-20]. Nákladní auta.
Dostupné z : <www.ls-novinky.cz/Man.html>
- [5] MAN Truck & Bus AG. *TGM 18 Tonne 4x4 Rigid* [online]. 2012 [cit. 2012-02-06].
Dostupné z: <www.ie.man-mn.com/datapool/mediapool/100/TGM_18t_4x4_Rigid_0809.pdf>
- [6] MAN Truck & Bus AG. *Směrnice pro nástavbáře* [online]. Mnichov: Oddělení ESC, 2011. 160 s.
Dostupné z: <http://manted.mn.man.de/manted/aufbaurichtlinien/gb_all.html>
- [7] ČSN 731401. *Navrhování ocelových konstrukcí*. [s.l.] : Český normalizační institut, Březen 1998. 133 s. ICS 91.080.10
- [8] LEINVEBER, Jan - VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 3. vyd.Úvaly: Albra 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

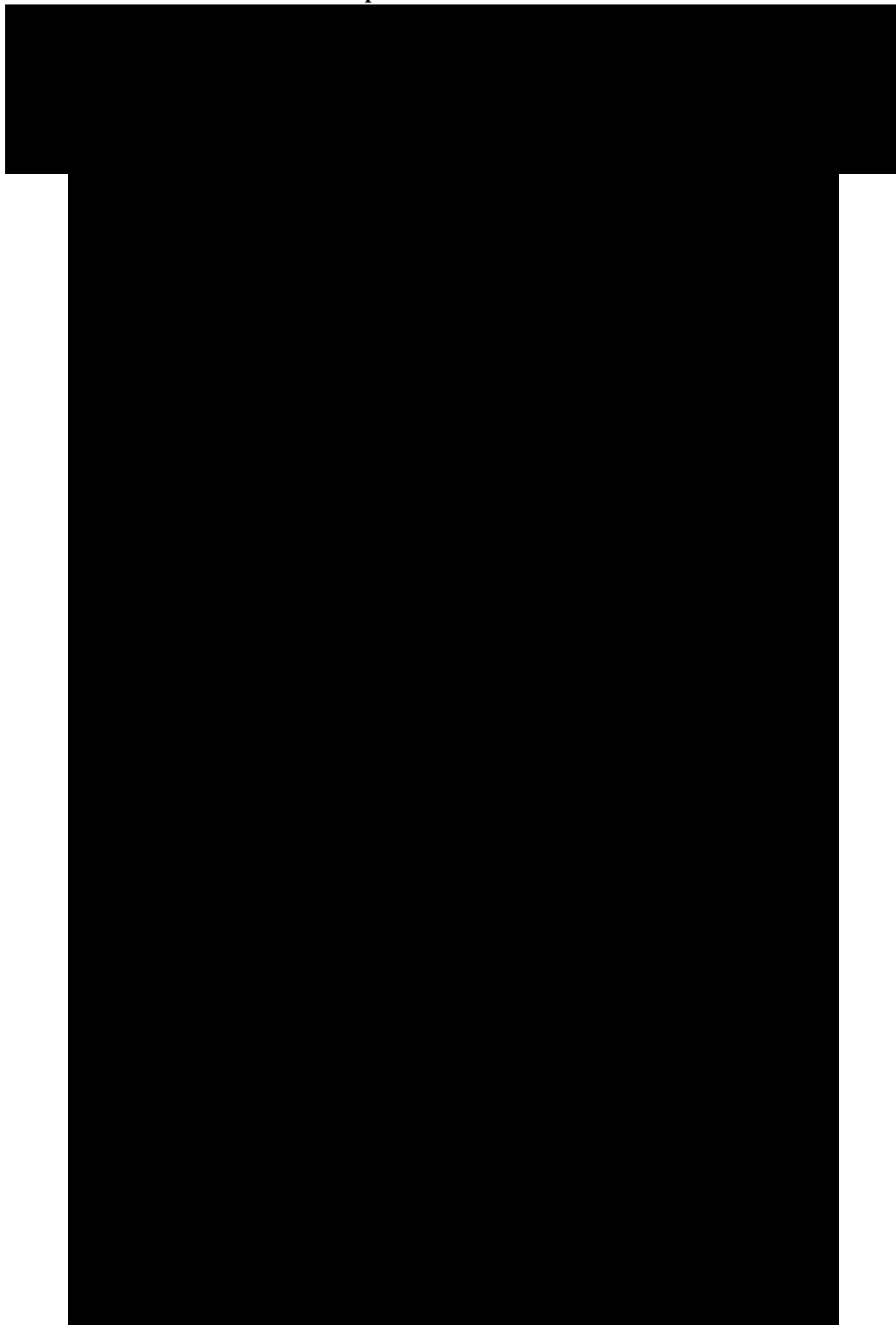
Adams		Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems
CN		označení uložení přímočarých hydromotorů výsuvu nohy
CR		označení uložení nakládacích ramen
CSN		Česká státní norma
CV		předního uložení hlavních přímočarých hydromotorů
FEM		finite element method
f_{yd}	[MPa]	návrhová pevnost
γ_M	[-]	součinitel spolehlivosti materiálu
HMH		Huber-Mises-Henckly
I-DEAS		Integrated design and Engineering Analysis
I_{xx}	[kg.mm ²]	moment setrvačnosti k těžištní ose X
I_{yy}	[kg.mm ²]	moment setrvačnosti k těžištní ose Y
I_{zz}	[kg.mm ²]	moment setrvačnosti k těžištní ose Z
MKP		metoda konečných prvků
MSC		MacNeal-Schwendler Corporation
N		označení místa dotyku nohy a výsuvu nohy
NKR		nosič kontejnerů ramenový
NX		Next Generation
OBJ		Object
PČH		přímočarý hydromotor
R_e	[MPa]	mez kluzu
zs		zatěžovací stav

11. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	První zatěžovací stav původního rámu – 140 s horní strana
Příloha 2	První zatěžovací stav původního rámu – 140 s spodní strana
Příloha 3	Druhý zatěžovací stav původního rámu – 220 s horní strana
Příloha 4	Druhý zatěžovací stav původního rámu – 220 s spodní strana
Příloha 5	První zatěžovací stav upraveného rámu – 140 s horní strana
Příloha 6	První zatěžovací stav upraveného rámu – 140 s spodní strana
Příloha 7	Druhý zatěžovací stav upraveného rámu – 220 s horní strana
Příloha 8	Druhý zatěžovací stav upraveného rámu – 220 s spodní strana
Příloha 9	Nakládací rameno - původní
Příloha 10	Nakládací rameno – upravené

ZÁKLADNÍ RÁM NKR130V, výkres sestavy	č. výkresu 1-NKR130V-00/00
VÝZTUŽNÝ PLECH BOČNÍ, výkres součásti	č. výkresu 3-NKR130V-00/11
HORNÍ PLECH NOHY, výkres součásti	č. výkresu 4-NKR130V-00/12
VÝZTUHA ULOŽENÍ HL PČH HORNÍ, výkres součásti	č. výkresu 4-NKR130V-00/17
VÝZTUHA ULOŽENÍ HL PČH SPODNÍ, výkres součásti	č. výkresu 4-NKR130V-00/18
VÝZTUŽNÝ PLECH HORNÍ, výkres součásti	č. výkresu 3-NKR130V-00/19
PŘÍČKA, výkres sestavy	č. výkresu 3-NKR130V-06/00
VÝZTUHA PŘÍČKY, výkres součásti	č. výkresu 4-NKR130V-06/02
ULOŽENÍ HLAVNÍCH PČH VNITŘNÍ, výkres sestavy,	č. výkresu 2-NKR130V-15/00
BOČNICE VNITŘNÍ, výkres součásti	č. výkresu 3-NKR130V-15/01
ŽEBRO TROJÚHELNÍKOVÉ, výkres součásti	č. výkresu 4-NKR130V-15/02
POUZDRO ČEPU VNITŘNÍ, výkres součásti	č. výkresu 4-NKR130V-15/03
ŽEBRO OBDÉLNÍKOVÉ VNITŘNÍ, výkres součásti	č. výkresu 4-NKR130V-15/04
ULOŽENÍ HLAVNÍCH PČH VNĚJŠÍ, výkres sestavy	č. výkresu 3-NKR130V-16/00
BOČNICE VNĚJŠÍ, výkres součásti	č. výkresu 3-NKR130V-16/01
ŽEBRO OBDÉLNÍKOVÉ VNĚJŠÍ, výkres součásti	č. výkresu 4-NKR130V-16/02
POUZDRO ČEPU VNĚJŠÍ, výkres součásti	č. výkresu 4-NKR130V-16/03
ČEP, výkres součásti	č. výkresu 3-CEP-01/00

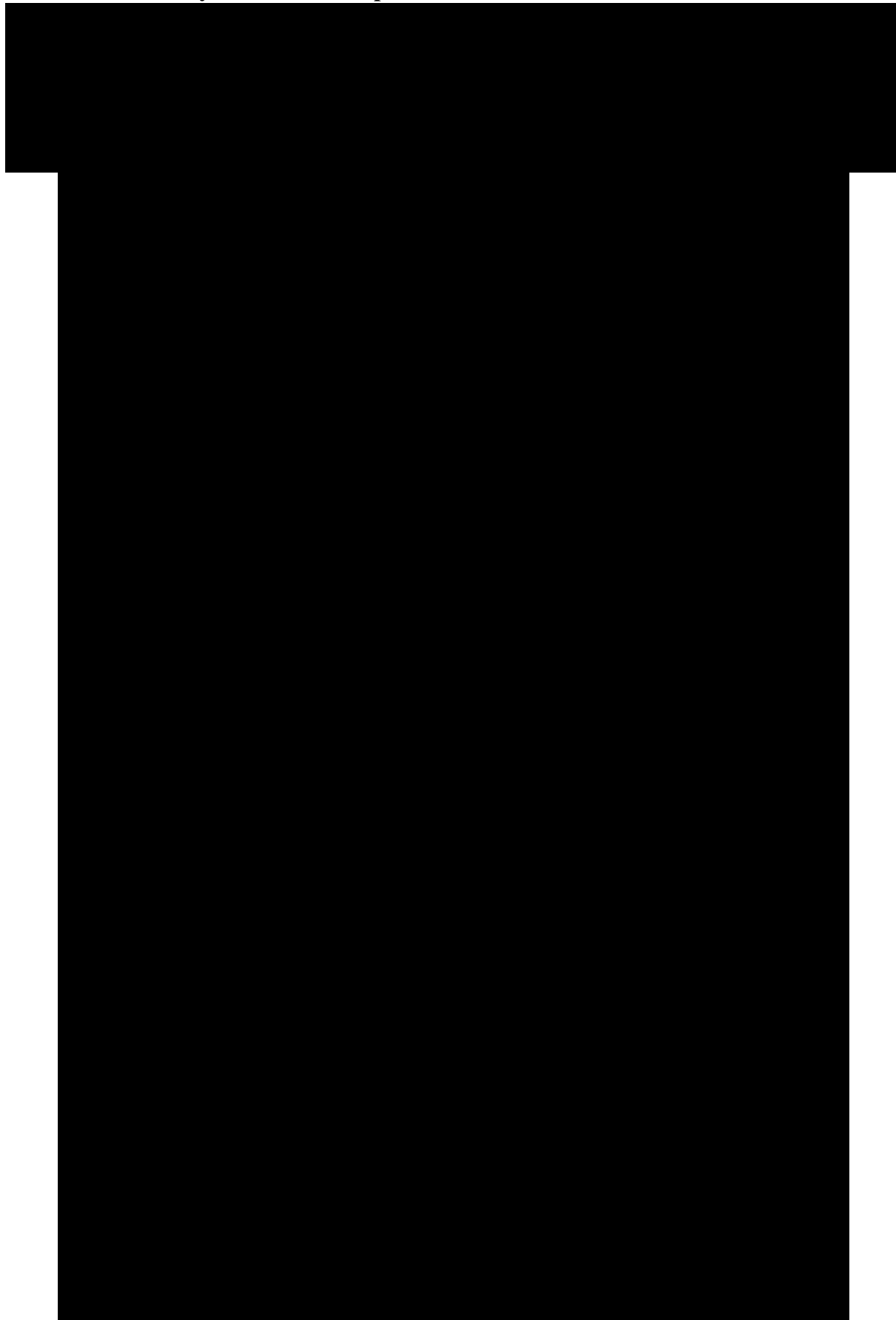
Příloha 1 První zatěžovací stav původního rámu – 140 s horní strana



Příloha 2 První zatěžovací stav původního rámu – 140 s spodní strana



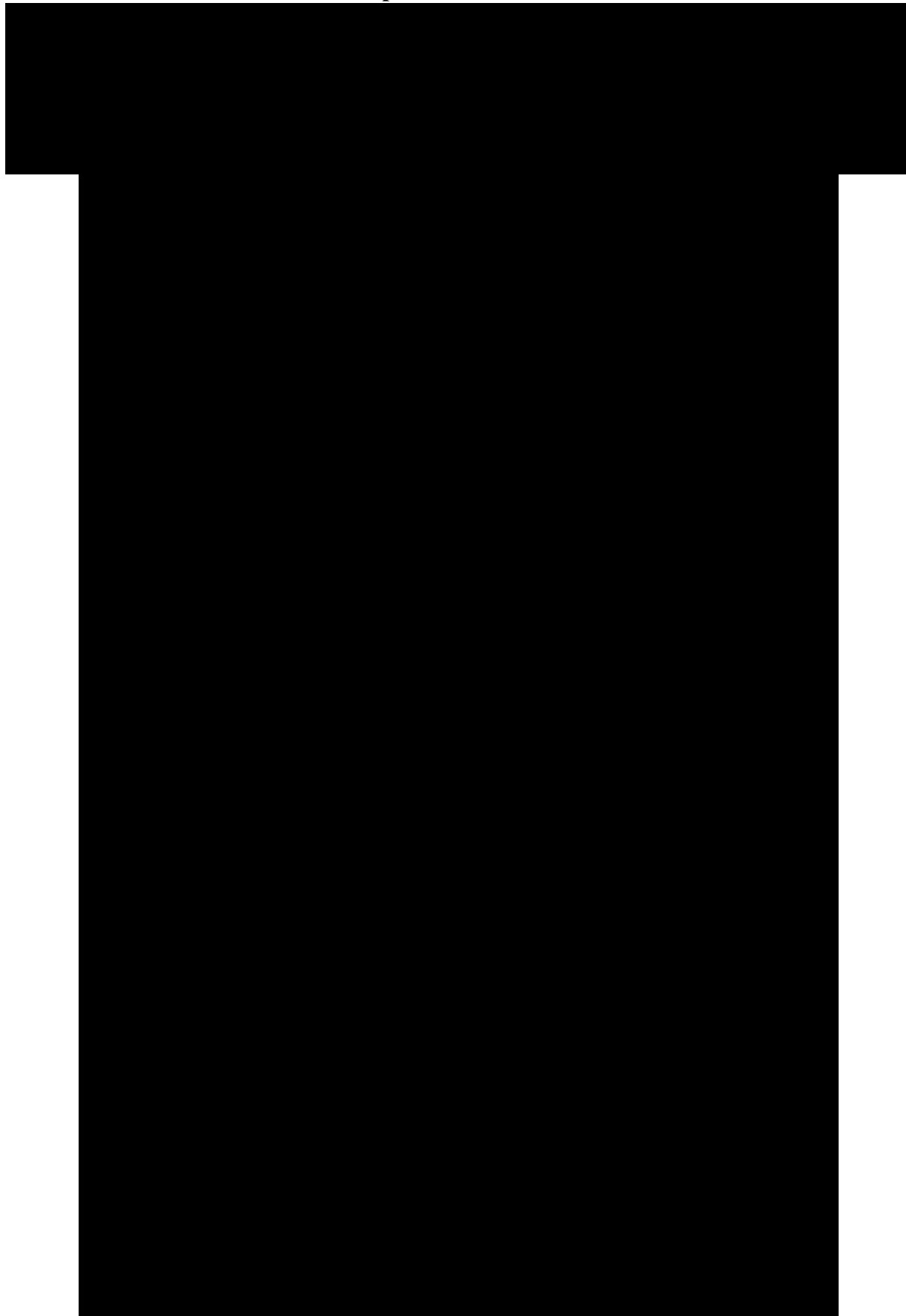
Příloha 3 Druhý zatěžovací stav původního rámu – 220 s horní strana



Příloha 4 Druhý zatěžovací stav původního rámu – 220 s spodní strana

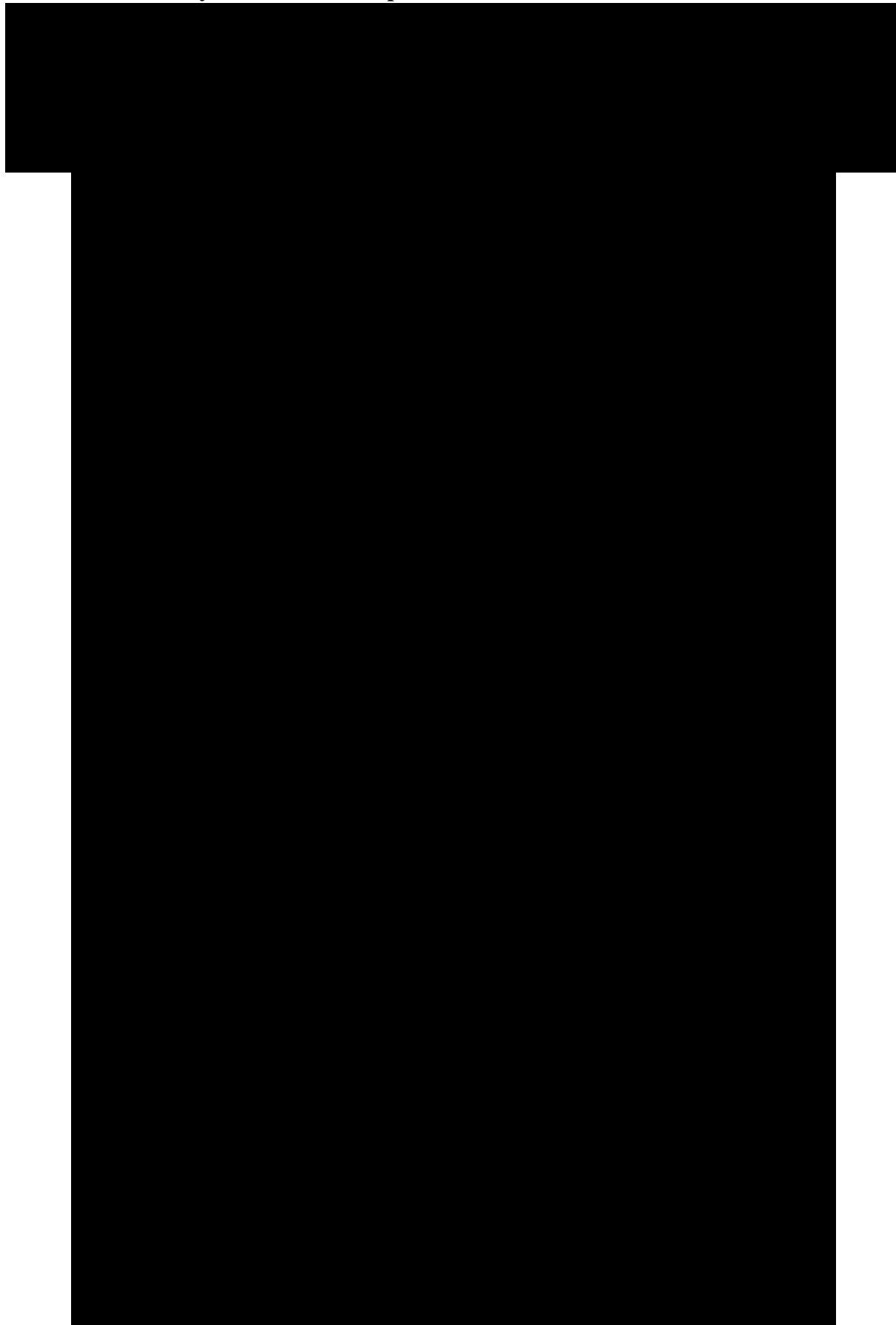


Příloha 5 První zatěžovací stav upraveného rámu – 140 s horní strana



Příloha 6 První zatěžovací stav upraveného rámu – 140 s spodní strana





Příloha 8 Druhý zatěžovací stav upraveného rámu – 220 s spodní strana



Příloha 9 Nakládací rameno - původní



Příloha 10 Nakládací rameno - upravené

